

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ESTRATIGRAFIA E SEDIMENTOLOGIA DE CONES DE DEJEÇÃO
APLICADAS À CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA DE PROCESSOS
EROSIVOS EM ENCOSTA: A ENCOSTA GUAIRACÁ, GUARAPUAVA (PR)**

Florianópolis - 2009

**Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Geografia**

Leandro Vagner Mascarello

**Estratigrafia e sedimentologia de cones de dejeção aplicadas à caracterização
da dinâmica de processos erosivos em encosta: a encosta Guairacá,
Guarapuava (PR)**

**Prof. Dr. Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira
Orientador**

**Prof. Dr. Mauricio Camargo Filho
Co-Orientador**

Área de Concentração: Utilização e Conservação de Recursos Naturais

Florianópolis – 2009

Estratigrafia e sedimentologia de cones de dejeção aplicadas à caracterização da dinâmica de processos erosivos em encosta: a encosta Guairacá, Guarapuava (PR)

Leandro Vagner Mascarello

Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Geografia, área de concentração: Utilização e Conservação de Recursos Naturais, do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de **Mestre em Geografia**.

Prof. Dr. Carlos José Espíndola
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM: 26/03/2009

Dr. Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira (Presidente e Orientador – GCN/UFSC)

Dra. Gerusa Maria Duarte (Membro – GCN/UFSC)

Dra. Gisele Camargo (Membro – UNICENTRO/Guarapuava/PR)

Florianópolis - 2009

Dedico este trabalho à todos que me apoiaram e acreditaram na concreta realização do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira pela orientação eficiente e segura, não apenas pela relação orientador e orientando, mas também pela ampla produção científica que vem realizando no campo da geomorfologia. Minha gratidão pelo apoio e estímulo recebido.

Aos meus pais e meu irmão, que sempre me apoiaram, principalmente nas dificuldades, desde a época da graduação, acreditando na realização desse objetivo.

Ao Prof. Dr. Mauricio Camargo Filho, não só pela eficiente e segura co-orientação, mas pela paciência, amizade e principalmente por ter me mostrado o caminho dentro da ciência geomorfológica, desde o início da minha jornada, refletida em projetos, pesquisas e produção científica. Minha eterna gratidão.

À Profa. Dra. Gisele Pietrobelli, pelos incentivos e valiosos ensinamentos adquiridos em todos esses anos.

Ao Prof. Dr. Luiz Gilberto Bertotti, do Departamento de Geografia da UNICENTRO, pela ajuda nos trabalhos de topografia.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro oferecido.

Aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Geografia da UFSC, que dividem sua maior riqueza, o saber construído em anos de estudo.

Ao Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, por ceder os laboratórios de Geomorfologia e Geoprocessamento.

Aos estagiários e bolsistas do Laboratório de Geomorfologia da UNICENTRO pela ajuda nos trabalhos de campo e de laboratório, em especial, aos amigos Deyvis e Luis.

Aos meus amigos Andrey Luís Binda e Wellington Barbosa da Silva, pela ajuda nos trabalhos de campo e por toda produção científica realizada no período desta pesquisa.

A todos os amigos que me acompanharam desde o início desse projeto, dividindo alegrias e incertezas.

RESUMO

Os depósitos de encosta relacionados a incisões preservam informações aplicáveis no reconhecimento e caracterização do seu ambiente de formação. Seu estudo adequado assume importante papel na compreensão e elucidação dos processos que atuaram no período de sua gênese. Nessa perspectiva, o presente trabalho objetivou o estudo de depósito de encosta com o intuito de reconhecer e interpretar a dinâmica dos processos erosivos e deposicionais que atuaram no período de sua formação. Para a realização do trabalho, foi escolhida uma encosta localizada no município de Guarapuava (PR). Após os trabalhos de campo, laboratório e gabinete foi possível verificar que, o fluxo que atuou nos processos erosivos e deposicionais na encosta, apresentou características distintas durante o processo de erosão e deposição do material que constitui os depósitos, alternando entre fluxo mais denso e fluxo com baixa competência de transporte de carga, o que refletiu na distribuição textural diferenciada do material que constitui as unidades dos depósitos. Análises micromorfológicas não identificaram nenhum processo pedogenético avançado, sugerindo se tratar de depósito contemporâneo aos dias atuais, corroborando a idéia de que o processo de erosão se instalou após o desmatamento da área e que, a criação de gado, ocupação inicial da área, por meio do pisoteio e conseqüente compactação do solo, se constitui como fator que deflagrou os processos erosivos na área de estudo. Em relação ao monitoramento dos volumes de solo e sedimentos erodidos, baseando-se nos dados obtidos no período da pesquisa, pôde-se concluir que a voçoroca está praticamente estabilizada.

Palavras-chave: Micromorfologia, processos erosivos.

ABSTRACT

The hillside deposits related to incisions preserve useful information in the recognition and characterization of environmental formation. The appropriate study assumes an important role in the understanding and elucidation of the processes that acted in the period of formation. In that perspective, the present work aimed the study of hillside deposit with the intention of to recognize and to interpret the dynamics of the active erosive processes in genesis of deposit. For the accomplishment of the work, was chosen a located hillside in the Guarapuava (PR). After the field works, laboratory and cabinet, was possible to determine that the active flow in the erosive process presented variations in the competence of load transport, what originated units with different grain-size distribution. Micromorphological analyses did not identify any advanced pedogenetic process, suggesting traits from contemporary deposit to the current days, corroborating the idea that the erosion process installed after the deforestation of the area, and that, for the bad use of the soil, it presented evolution, however, basing on the erosion rates monitored in the period of the research, it is possible to conclude that the gully is practically stabilized.

Keywords: Micromorphology, erosive processes.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Esquema representativo dos caminhos da água na encosta, segundo Dunne (1990)	21
FIGURA 2	Mapa de localização do Município de Guarapuava	36
FIGURA 3	Representação das subzonas naturais do Terceiro Planalto Paranaense.....	37
FIGURA 4	Mapa de localização da bacia do rio das Pedras e da área de estudo	41
FIGURA 5	Levantamento topográfico da encosta Guairacá	42
FIGURA 6	Mapa das classes de declividades da encosta Guairacá	43
FIGURA 7	Estacas instaladas nas margens da voçoroca para monitoramento da evolução marginal e da cabeceira da incisão	49
FIGURA 8	Pinos fixos utilizados para o monitoramento das taxas de erosão dentro do canal.....	49
FIGURA 9	Localização das sondagens e das trincheiras na encosta Guairacá...	57
FIGURA 10	Desenho representativo da toposseqüência I.....	58
FIGURA 11	Desenho representativo da toposseqüência II.....	62
FIGURA 12	Desenho representativo da toposseqüência III.....	65
FIGURA 13	Desenho representativo de perfil analisado da Trincheira 1.....	68
FIGURA 14	Distribuição granulométrica nas unidades do perfil analisado da Trincheira 1	71
FIGURA 15	Desenho representativo de perfil analisado da Trincheira 2.....	73
FIGURA 16	Distribuição granulométrica nas unidades do perfil analisado da Trincheira 2.....	74
FIGURA 17	Desenho representativo de perfil analisado da Trincheira 3.....	76
FIGURA 18	Distribuição granulométrica nas unidades do perfil analisado da Trincheira 3	79
FIGURA 19	Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T1.1...	82
FIGURA 20	Fotomicrografia da lâmina T1.1.....	83
FIGURA 21	Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T1.2....	84

FIGURA 22	Fotomicrografia da lâmina T1.2.....	85
FIGURA 23	Fotomicrografia da lâmina T1.2.....	85
FIGURA 24	Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T2.1...	87
FIGURA 25	Fotomicrografia da lâmina T2.1.....	88
FIGURA 26	Fotomicrografia da lâmina T2.1.....	89
FIGURA 27	Fotomicrografia da Lâmina T2.1.....	89
FIGURA 28	Fotomicrografia da lâmina T2.1.....	90
FIGURA 29	Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T3.1...	91
FIGURA 30	Fotomicrografia da lâmina T3.1.....	92
FIGURA 31	Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T3.2...	94
FIGURA 32	Fotomicrografia da lâmina T3.2.....	95
FIGURA 33	Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T3.3...	96
FIGURA 34	Fotomicrografia da lâmina T3.3.....	97
FIGURA 35	Distribuição das seções de erosão na encosta Guairacá	103
FIGURA 36	Abatimento de <i>Pinus</i> em virtude do aumento das taxas de erosão das bordas da voçoroca na Seção 4	106
FIGURA 37	Deslocamento de agregados por meio de fendas de dessecação e tração.....	107
FIGURA 38	Variação da taxa de erosão dentro da incisão após evento chuvoso de 08/05/2007.....	108
FIGURA 39	Marmitta originada no eixo da voçoroca da Seção 5.....	109
FIGURA 40	Croqui representativo da variação da área das Seções 1, 2 e 3.....	110
FIGURA 41	Croqui representativo da variação da área da Seção 4.....	111
FIGURA 42	Croqui representativo da variação da área da Seção 5.....	112

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Mecanismos de erosão e feições erosivas associadas.....	25
TABELA 2	Classificação de estruturas sedimentares primárias baseada na origem física inorgânica.....	31
TABELA 3	Divisão climática do estado do Paraná.....	39
TABELA 4	Características da topossequência I.....	60
TABELA 5	Características da topossequência II.....	63
TABELA 6	Características da topossequência III.....	66
TABELA 7	Principais mecanismos responsáveis pela evolução da erosão em voçorocas e ravinas na bacia do Rio das Pedras.....	100
TABELA 8	Volumes e porcentagens da perda de solo e sedimentos das incisões, mecanismos de erosão e feições associadas.	104

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO I - CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS E DEPOSICIONAIS EM ENCOSTAS E MECANISMOS DE EROÇÃO ASSOCIADOS.....	18
1.1 Processos erosivos e deposicionais em encostas.....	18
1.1.1 Dinâmica da água na encosta.....	19
1.1.2 Mecanismos de erosão e feições erosivas associadas.....	21
1.1.2.1 Mecanismos de erosão.....	21
1.1.3 Erosão em ravinas e voçorocas.....	26
1.1.4 Depósitos de encosta.....	28
1.2 Voçorocas descontínuas.....	32
1.3 Caracterização de depósitos de encosta por meio da micromorfologia.....	33
OBJETIVOS	35
Geral.....	35
Específicos.....	35
CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE GUARAPUAVA E DA ÁREA DE ESTUDO	36
2.1 Caracterização geográfica e geológica do município de Guarapuava.....	36
2.1.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos.....	37
2.1.2 Revestimento vegetal.....	38
2.1.3 Aspectos climáticos.....	39
2.2 A área de estudo.....	40
CAPÍTULO III – TÉCNICAS UTILIZADAS NA CARATERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS E DA FEIÇÃO EROSIVA.....	45

3.1 Técnicas	45
3.1.1 Atividades de campo	45
3.1.1.1 Levantamento topográfico da encosta Guairacá	45
3.1.1.2 Seção sistemática.....	46
3.1.1.2.1 Descrição de campo.....	46
3.1.1.2.2 Coleta de amostras para análises de laboratório.....	47
3.1.1.3 Sondagem com trado holandês	47
3.1.1.4 Monitoramento das taxas de erosão e evolução da incisão erosiva.....	48
3.1.1.5 Monitoramento dos índices pluviométricos.....	50
3.1.2 Ensaios de laboratório e procedimentos para preparação de materiais.....	50
3.1.2.1 Análise granulométrica	50
3.1.2.2 Impregnação de amostras indeformadas de solo para microscopia e micromorfologia e confecção de lâminas delgadas.....	52
3.1.2.3 Micromorfologia..	54
3.1.3 De gabinete	54
3.1.3.1 Construção de toposseqüências.....	55
CAPÍTULO IV – RECONHECIMENTO DE UNIDADES SEDIMENTARES E PEDOLÓGICAS DE VERTENTE E DE DEPÓSITO DE CANAL NA ENCOSTA GUAIRACÁ.....	56
4.1 Toposseqüências.....	56
4.1.1 Toposseqüência longitudinal.....	56
4.1.1.1 Toposseqüência I.....	56
4.1.2 Toposseqüências transversais.....	61
4.1.2.1 Toposseqüência II.....	61
4.1.2.2. Toposseqüência III.....	64
4.2 Descrições das unidades que constituem os perfis analisados....	67

4.2.1 Caracterização do perfil analisado da Trincheira 1 (T1).....	67
4.2.1.1 Distribuição granulométrica na Trincheira 1.....	69
4.2.2 Caracterização do perfil analisado da Trincheira 2 (T2).....	72
4.2.2.1 Distribuição granulométrica na Trincheira 2.....	73
4.2.3 Caracterização do perfil analisado da Trincheira 3 (T3).....	75
4.2.3.1 Distribuição granulométrica na Trincheira 3.....	77
4.3 Considerações parciais acerca do reconhecimento de unidades sedimentares e pedológicas de vertente e de depósito de canal na encosta Guairacá.....	77
CAPÍTULO V - PROPRIEDADES MICROMORFOLÓGICAS DE UNIDADES SEDIMENTARES PEDOLÓGICAS DE VERTENTE E DE DEPÓSITO DE CANAL NA ENCOSTA GUAIRACÁ.....	80
5.1 Propriedades micromorfológicas de solos e unidades pedossedimentares da Trincheira 1.....	80
5.1.1 Descrição micromorfológica da lâmina T1.1.....	81
5.1.2 Descrição micromorfológica da lâmina T1.2.....	83
5.2 Propriedades micromorfológicas de solos e unidades pedossedimentares da Trincheira 2.....	86
5.2.1 Descrição micromorfológica da lâmina T2.1.....	86
5.3 Propriedades micromorfológicas de solos e unidades pedossedimentares da Trincheira 3	90
5.3.1 Descrição micromorfológica da lâmina T3.1.....	90
5.3.2 Descrição micromorfológica da lâmina T3.2.....	92
5.3.3 Descrição micromorfológica da lâmina T3.3.....	95
5.4 Considerações parciais acerca das propriedades micromorfológicas de solos e unidades pedossedimentares na encosta Guairacá.....	97
CAPÍTULO VII – PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO RIO DAS PEDRAS E ENCOSTA GUAIRACÁ E VOLUMES DE SOLO E SEDIMENTO ERODIDOS.....	99
6.1 Processos erosivos na bacia do Rio das Pedras.....	99

6.1.1 Os parâmetros morfométricos das encostas e as dimensões das voçorocas na bacia do Rio das Pedras...	100
6.1.2 A ocupação do solo nas encostas com voçorocas na bacia do Rio das Pedras.....	101
6.1.3 A voçoroca descontínua da encosta Guairacá.....	101
6.2 Volumes de solo e sedimento erodidos da voçoroca.....	102
6.2.1 Dinâmica do processo erosivo na encosta Guairacá.....	105
6.3 Considerações parciais acerca dos processos erosivos na bacia do Rio das Pedras e volumes de solo e sedimento erodidos da voçoroca.....	113
CONCLUSÃO	114
REFERÊNCIAS	118
ANEXOS	125
Anexo I. Formulário utilizado para descrições em campo	
Anexo II. Formulário utilizado para anotação dos dados da análise granulométrica	

INTRODUÇÃO

No ano de 2004, a Universidade Estadual do Centro – Oeste, UNICENTRO, junto à Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Guarapuava, desenvolveu um projeto de proteção e manejo da Bacia do Rio das Pedras, uma das principais bacias hidrográficas do município. Esse projeto, que contou com a participação de diversos centros de conhecimento da universidade, atuou em vários segmentos, tendo por objetivo principal fornecer subsídios para um trabalho de proteção e manejo adequados da bacia.

Por meio do Laboratório de Geomorfologia Aplicada, vinculado ao Departamento de Geociências da UNICENTRO, foi realizado um trabalho de reconhecimento e caracterização de processos de erosão gerando ravinas e voçorocas dentro da Bacia do Rio das Pedras. Tal pesquisa teve por objetivo compreender melhor a dinâmica dos processos erosivos atuantes na bacia. Nesse trabalho, Camargo *et al.* (2004), interpretaram a erosão gerando voçorocas como processo oriundo da ação antrópica local. Os resultados do trabalho desenvolvido indicaram que a área que compreende a Bacia do Rio das Pedras pode ser suscetível à instalação de processos erosivos em forma de voçorocas.

Entre as áreas estudadas e cadastradas, uma encosta, já denominada por Mascarello (2005) de encosta Guairacá, recebeu maior atenção da equipe de pesquisadores envolvida no trabalho. O interesse pela encosta Guairacá, ocorreu em virtude de que, naquele local, pôde-se verificar a existência de morfologias resultantes de processos erosivos, que se apresentam sob a forma de depósitos de cones de dejeção.

Para Selby (1994), estruturas deposicionais são importantes nas pesquisas geomorfológicas sendo que, por meio do seu estudo, é possível dar ênfase a uma das principais questões da geomorfologia: compreender as relações entre os processos e formas resultantes. Dentro da perspectiva de que os depósitos preservam características úteis ao reconhecimento e interpretação do seu ambiente de formação, e de que seu estudo adequado fornece informações sobre vários aspectos relacionados a processos de encosta, incluindo os processos erosivos, o presente trabalho objetivou estudar depósitos em forma de cone de dejeção

oriundos de voçorocamento, com o intuito de melhor compreender a dinâmica dos processos erosivos instalados na encosta e que originaram esses depósitos.

Para a realização da pesquisa, foi escolhida como área de estudo uma encosta que se situa no município de Guarapuava, no centro-sul do estado do Paraná, em um dos compartimentos do Terceiro Planalto Paranaense ou Planalto de Guarapuava (MAACK, 2002). Trata-se de uma encosta de forma convexo-côncava com 250 m de extensão onde está instalada uma voçoroca com padrão descontínuo que ocupa cerca de 200 m na encosta. A encosta Guairacá apresenta uma declividade média de 15%. Alguns setores da voçoroca atingem o embasamento rochoso. Os afloramentos de rocha geralmente são localizados da média para a baixa encosta, em setores da voçoroca que apresentam profundidades que variam de 1,5 m a 2,0 m. As seções de descontinuidade são ocupadas por terreno ainda não erodido na alta encosta; degraus, provavelmente originados por movimentos de massa localizados na média encosta e cones de dejeção oriundos de voçorocamento nos setores situados na média e a baixa encosta.

Em trabalhos de reconhecimento e caracterização de depósito na área de estudo, Mascarello e Camargo Filho (2004) e Mascarello (2005), sugeriram tratar-se de depósito contemporâneo aos dias atuais. Essa hipótese ocorre em virtude de não ter sido identificado nenhum processo pedogenético avançado em descrições micromorfológicas feitas a partir de lâminas delgadas confeccionadas de amostras indeformadas de depósito localizado na baixa encosta, no setor que compreende a última seção de erosão. Ainda acerca do depósito da encosta Guairacá, a variação textural reconhecida no setor estudado, sugeriu períodos alternados de deposição. O selecionamento de material e mudança na capacidade de transporte de carga do fluxo também foram identificados. Essa observação reside no fato de que, o aporte de sedimentos que incorpora a parte proximal daquele depósito, é representado por material mais grosso em relação aos sedimentos encontrados na porção distal, composta por material de textura mais fina. Porém, essas hipóteses se referem somente ao depósito localizado na área da última seção de erosão, sendo que outros setores da encosta também são ocupados por depósitos, e para a compreensão e elucidação dos processos erosivos instalados na encosta, o estudo desses depósitos assume importante papel.

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS E DEPOSICIONAIS EM ENCOSTAS E MECANISMOS DE EROSÃO ASSOCIADOS

1.1 Processos erosivos e deposicionais em encostas

O conceito de erosão está ligado aos processos de desgaste da superfície do terreno por meio da retirada e do transporte dos grãos minerais feitos pela ação da água, do vento, dos mares e das geleiras. Os processos erosivos implicam a relação de fragmentação mecânica das rochas ou a decomposição química das mesmas, bem como, a remoção superficial ou subsuperficial dos produtos do intemperismo (BIGARELLA, 2003). Os processos de erosão do solo se caracterizam como processos de degradação e instabilidade do ambiente, que podem atingir várias proporções, destruindo a terra e seu valor agrícola por meio da erosão laminar, em sulcos, ravinas e voçorocas. Esses processos de erosão podem constituir um processo natural de evolução geomorfológica, decorrente da expansão da rede de drenagem sob condições climáticas e hidrológicas atuais, ou tratar-se do resultado do uso indevido do solo, sob condições limitantes de estabilidade ambiental. Neste último caso, tem-se a erosão acelerada do solo (CAMARGO, 2005).

A análise dos fatores responsáveis pela instalação da erosão acelerada do solo, exceto o fator água, indica que eles estão relacionados fundamentalmente ao tipo de solo, à configuração do relevo e, de modo indireto, ao substrato rochoso. Mudanças climáticas ou de uso do solo também operam como catalisadores do processo erosivo (MORGAN, 1986).

Ao longo da história da humanidade, os solos vêm sendo constantemente degradados. O desmatamento, as queimadas e a busca pelo aumento do seu potencial produtivo, fazem com que os solos fiquem cada vez mais vulneráveis e suscetíveis aos agentes causadores dos processos erosivos. Os países em desenvolvimento, com regimes de chuvas tropicais, sofrem mais com esse problema, que é apontado por Blaikie (1985), como uma das causas e conseqüências do subdesenvolvimento, em virtude de que a degradação dos solos

não implica somente problemas de cunho ambiental, mas também social e econômico.

Os problemas ambientais, o aumento da população mundial e a crescente demanda por alimentos, têm despertado a atenção dos cientistas e estudiosos, levando a um crescente número de trabalhos desenvolvidos sobre erosão dos solos, com o objetivo de reconhecer e compreender melhor a dinâmica desse processo de degradação e desestabilização do ambiente. No desenvolvimento desses trabalhos algumas questões foram ganhando destaque, necessitando de uma abordagem mais acurada. Um exemplo disso é a dinâmica hidrológica das encostas, que ganhou ênfase em vários dos mais importantes trabalhos sobre processos de encosta (KIRKBY e CHORLEY, 1967; KIRKBY, 1978).

1.1.1 Dinâmica da água na encosta

A água, interligada com os outros elementos do seu ambiente de drenagem, como os solos e a vegetação, constitui um dos principais elementos que compõem a paisagem terrestre e fazem com que a vida, tanto vegetal-animal quanto humana, seja possível (COELHO NETTO, 2001). A água atua praticamente em todos os processos de encosta, como por exemplo, no intemperismo, na erosão, no transporte e na deposição de sedimentos, sendo um dos principais elementos responsáveis pelas mudanças morfológicas das encostas (BIGARELLA, 2003). Ao atingir as encostas, se constitui como um dos principais agentes que atuam nos processos erosivos e deposicionais, nesse sentido, se faz necessário compreender melhor a dinâmica hidrológica das encostas.

Segundo Guerra (1999), ao atingir as encostas, parte da água da chuva cai diretamente no solo, outra parte é interceptada pela cobertura vegetal sendo que, pela evaporação, pode retornar à atmosfera ou, por meio do gotejamento das folhas e pelo fluxo de tronco (*stemflow*)), pode chegar ao solo. Para Bigarella (2003), a água da chuva, ao atingir a superfície terrestre, pode escoar na superfície, em subsuperfície e subterraneamente. Ainda segundo o autor, o predomínio e a importância relativa desses tipos de escoamento dependem da combinação de diversos fatores, como as condições climáticas, as características morfométricas da

encosta, as condições bióticas e edafológicas e as atividades antrópicas. De acordo com Dunne (1990), após o contato com as encostas, a água percorre preferencialmente quatro caminhos (Figura 1).

O primeiro caminho corresponde ao escoamento superficial, que decorre das situações em que a intensidade da chuva é superior à capacidade de infiltração instantânea do solo. A esse tipo de escoamento, designou-se fluxo superficial hortoniano (*horton overland flow*), referência a Robert E. Horton (1933), autor dos primeiros estudos quantitativos sobre hidrologia e que definiu esse tipo de escoamento. Segundo Morgan (1986), essa categoria de fluxo, associada ao destacamento de partículas do solo (*splash*), é responsável por mais de 95% das perdas de solo em áreas de solo nu ou cultivado. Autores como Selby (1982), sugerem que esse tipo de escoamento é típico de regiões áridas e semi-áridas. Nas regiões úmidas, dependendo da intensidade da chuva, a vegetação exuberante e os solos mais permeáveis aumentariam a capacidade de infiltração, fazendo com que grande parte da chuva seja absorvida e utilizada para alimentar o lençol freático, que por sua vez, seria responsável pela recarga contínua de alguns rios, correspondendo ao segundo caminho da água, designado fluxo de base (*baseflow*).

O terceiro caminho corresponde à movimentação lateral da água em pouca profundidade dentro do solo ou sobre a rocha. Nesse meio a água percolaria laminarmente na matriz do solo, ou pelos macroporos (PAISANI, 1998). Dunne (1990) designou esse processo de fluxo subsuperficial (*subsurface flow*).

Com a redução da permeabilidade em virtude do aumento da profundidade do solo ou mesmo com a constante adição de umidade pela precipitação, o fluxo subsuperficial passaria a escoar na superfície na forma de fluxo de retorno, também conhecido como exfiltração (DUNNE, 1990). O escoamento produzido pela água emergente do solo, que se encontra saturado, aumenta tanto pela precipitação direta como pelo escoamento resultante da precipitação que não consegue infiltrar na zona de saturação. Esse escoamento é designado fluxo superficial saturado (*saturation overland flow*), e corresponde ao quarto caminho da água (DUNNE, 1990). De acordo com Selby (1994), o fluxo superficial saturado, o fluxo subsuperficial e em túneis são responsáveis por pequenas quantidades de descarga de sedimentos.

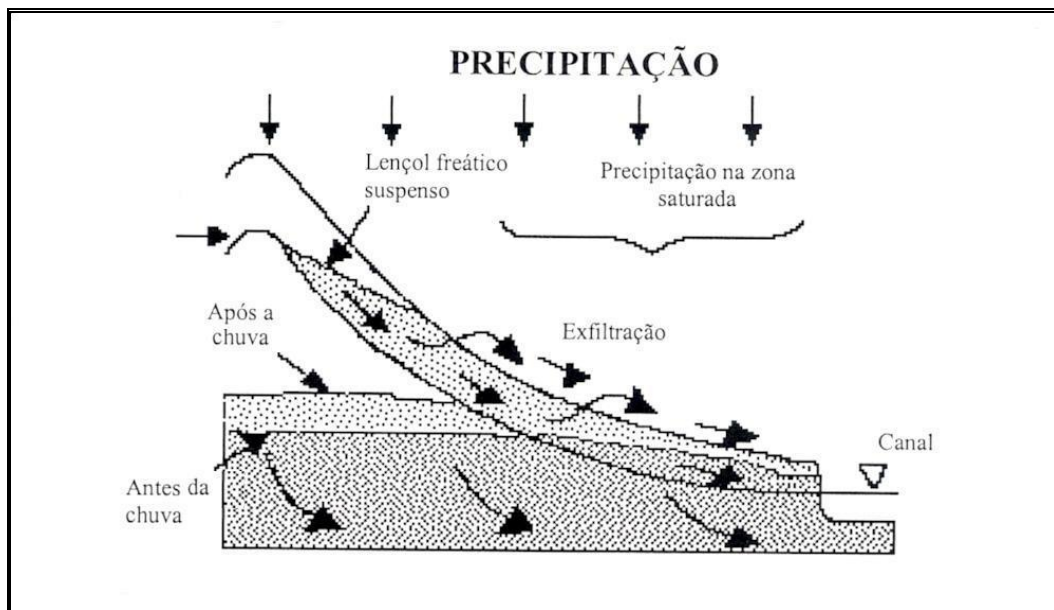


Figura 1. Caminhos da água na encosta.

Fonte: Modificado de Dunne, 1990.

1.1.2 Mecanismos de erosão e feições erosivas associadas

Os processos de erosão por ravinas e voçorocas são causados pela ação de vários mecanismos que atuam de forma diferente no tempo e no espaço. A gênese desses mecanismos está associada às rotas de fluxos de água, em superfície ou subsuperfície (COELHO NETTO, 2001).

A seguir, serão descritos os mecanismos de erosão.

1.1.2.1 Mecanismos de erosão

a) Deslocamento de partículas por impacto de gotas de chuva

A ação do *splash*, também conhecido como erosão por salpicamento, é o estágio mais inicial do processo erosivo, em virtude de que é esse mecanismo o responsável pelo preparo das partículas que compõem o solo para serem carregadas pelo escoamento superficial (GUERRA, 1999). Segundo Oliveira (1999), o deslocamento das partículas por meio do impacto das gotas de chuva promove a compactação da superfície do terreno, através de remobilização de silte e argila nos

espaços intergranulares, e erosão, por meio da projeção de partículas para fora da área de impacto. Para Morgan (1986), a compactação cria uma crosta superficial, que pode implicar a redução da capacidade de infiltração, aumentando o escoamento superficial durante eventos chuvosos. O papel do *splash* varia de acordo com a resistência do solo ao impacto das gotas de chuva e também com a energia cinética das gotas de chuva.

b) Transporte de partículas de solo pelo escoamento superficial difuso

Esse mecanismo tem início no momento em que a água, que se acumula nas depressões do terreno, começa a descer pela encosta quando o solo está saturado e as poças não conseguem mais conter essa água. A princípio o fluxo é difuso, um escoamento em lençol. Esse mecanismo é também conhecido por fluxo laminar, que provoca a erosão em lençol, ou erosão laminar (GUERRA, 1999). Para Oliveira (1999), o transporte de partículas por fluxos superficiais pode ser entendido como o resultado das tensões cisalhantes que superam a resistência estática das partículas individuais do solo. Nesse estágio de processo erosivo, surge uma pequena incisão no solo, em especial onde o fluxo de água começa a se concentrar, podendo dar início à formação de ravinas. Nesse sentido, esse é o ponto de partida de todo o processo erosivo, quando a água inicia seu escoamento pelo topo do solo (MORGAN, 1986).

c) Transportes de partículas por fluxos concentrados

A partir do momento em que o fluxo converge para microdepressões do terreno, o escoamento superficial se torna fluxo concentrado, dando origem a pequenos canais.

Nesse estágio de evolução do escoamento superficial, ocorre o atrito entre as partículas transportadas pelo fluxo e o fundo e as bordas dos pequenos canais. Para Oliveira (1999), o efeito do impacto de partículas sobre o material estático do fundo e das bordas do canal é denominado *corrasão*, que provoca a dissecação ou o alargamento do canal, dando origem a sulcos e ravinas. Ainda segundo o autor, a

dissecação, ou aprofundamento de incisões, sob o efeito do escoamento superficial concentrado ao longo do tempo depende, entre outros fatores de caráter local (declividade, características mecânicas dos materiais, etc.), da frequência de chuvas volumosas ou concentradas.

d) Erosão por quedas-d'água

A erosão por quedas-d'água se origina a partir da água de escoamento superficial que desemboca no interior de incisões erosivas (OLIVEIRA, 1999).

Dietrich e Dunne (1993) dizem que, a partir do momento em que o escoamento superficial se concentra em depressões do terreno, a convergência de fluxo na margem a montante da depressão ocasiona uma diminuição da profundidade do escoamento e da descarga ao longo das margens da depressão que se encontram imediatamente a jusante. De acordo com Oliveira (1999), como a diminuição da profundidade de escoamento e de sua descarga ao longo das margens acarreta redução da remoção de partículas nesses setores, individualizam-se margens mais abruptas que tendem a ser mais estáveis em detrimento da calha principal. Ainda segundo o autor, quando as margens do canal assim constituído possuem, por algum motivo, maior coesão aparente, forma-se uma borda estável ao longo da qual o escoamento desemboca em forma de cascata, e a turbulência causada pela queda-d'água retira material em torno da zona de impacto e escava uma depressão na base da borda, configurando a chamada erosão por quedas-d'água.

e) Movimentos de massa localizados

São vários os tipos de movimentos de massas verificados em voçorocas. Esses movimentos dependem da resistência ao cisalhamento dos materiais em áreas suscetíveis à erosão por voçorocas. Alguns fatores contribuem para que haja um aumento nas tensões cisalhantes ou uma diminuição a resistência ao cisalhamento (GUERRA, 2001).

De acordo com Oliveira (1999), entre os fatores que aumentam as tensões cisalhantes em encostas e paredes de voçorocas podem-se destacar: remoção de suporte lateral; sobrecarga; solapamento; pressão lateral; tensões transitórias relacionadas a vibrações de várias origens. Ainda segundo o autor, os fatores que podem diminuir a resistência ao cisalhamento dos materiais são: composição e textura; reações físico-químicas; efeitos da água matricial; alterações da estrutura; remoção da vegetação.

f) Arraste de partículas por percolação

Dunne (1990), diz que o arraste das partículas por percolação ocorre como resultado da água que atravessa um meio poroso, após aflorar ao longo de uma superfície exposta. A mobilização das partículas pode ocorrer por fluidização ou por colapso de materiais coesivos. Para haver erosão, é preciso que uma descarga crítica se desenvolva em torno da área de afloramento da água que atravessa o meio poroso. O arraste de partículas por percolação ocorre associado a perturbações que acarretam variações do nível do lençol freático, como, por exemplo, aumento das precipitações (OLIVEIRA, 1999).

g) Arraste de partículas por fluxos concentrados em túneis ou dutos

A erosão em túneis ocorre pela ação da água de escoamento superficial e subsuperficial que penetra em furos biogênicos ou fendas de origens diversas. Os principais mecanismos que atuam na escavação e alargamento de túneis estão associados à origem da água que penetra nos furos ou fendas (DUNNE, 1990).

Se a água atinge o túnel por via subsuperficial, predominam forças e fatores que atuam na erosão por vazamento. Se a água se origina de fluxos superficiais, predomina a atuação de fluxos turbulentos. A erosão em dutos constitui, portanto, excelente exemplo de interação entre diferentes mecanismos fundamentais que podem gerar feições erosivas (OLIVEIRA, 1999).

1.1.2.2 Feições erosivas associadas

A atuação dos mecanismos de erosão anteriormente discutidos resulta no surgimento de feições. Essas feições são indícios de vários processos, nessa perspectiva, seu reconhecimento e interpretação adequados permitem reconhecer os mecanismos que, atuando de forma conjugada, podem levar ao surgimento de processos de erosão.

Exemplos de feições erosivas são relacionados na tabela 1, que mostra a feição erosiva e o mecanismo de erosão ao qual está associada.

Tabela 1. Mecanismos de erosão e feições erosivas associadas

Feição erosiva	Mecanismo de erosão
Pedestais	Erosão por salpicamento; <i>splash</i>
Sulcos e ravinas	Escoamento superficial concentrado
Alcovas de regressão	Escoamento superficial na forma de filetes subverticais; Exfiltração
Dutos de convergência e caneluras	Erosão por quedas-d'água e eventuais ressurgências de zonas de saturação
Marmitas ou panelas	Erosão por quedas-d'água
Quedas de areia	Movimentos de massa localizados; exposição à chuva e a filetes d'água
Costelas e depressões	Filetes subverticais; exfiltração do lençol freático
Quedas de torrões	Movimentos de massa localizados
Fendas e dutos	Erosão em dutos

1.1.3 Erosão em ravinas e voçorocas

As encostas tropicais e subtropicais estão sujeitas aos processos de intemperismo, erosão e conseqüente produção de sedimentos. A efetividade desses processos é controlada pela litologia, cobertura vegetal, disponibilidade para transporte de partículas de solo e rocha, comprimento, declividade e forma da encosta (CAMARGO, 2005). Os fatores controladores da erosão, como características da encosta (forma, comprimento e declividade), propriedades do solo e condições climáticas, são aqueles que, interados, determinam as variações nas taxas de erosão, podendo ser alterados pela intervenção do homem, o que pode apressar ou retardar os processos erosivos. Segundo Morgan (1986), é necessário estudar esses fatores com bastante detalhe para se compreender como, onde e por que a erosão ocorre.

O escoamento superficial, ao se concentrar, cria pequenos canais que se tornam rotas preferenciais em superfície para o fluxo de água. O fluxo de água na encosta torna-se turbulento em função do aumento do gradiente hidráulico, que pode ocorrer em virtude do aumento da intensidade da chuva, aumento do gradiente da encosta ou porque a capacidade de armazenamento de água na superfície é excedida (GUERRA, 2001). Com o aumento da turbulência do fluxo dentro dos pequenos canais, o processo de erosão se intensifica. Isso ocorre em virtude do atrito entre as partículas transportadas pelo fluxo e o fundo e as bordas do canal, acarretando a dissecação com o alargamento do canal (OLIVEIRA, 1999). O alargamento e aprofundamento provocam a evolução desse canal, formando ravinas. Morgan (1986) apontou quatro estágios distintos pelos quais passam as características hidráulicas de um fluxo de água durante a formação de ravinas: escoamento superficial difuso; escoamento superficial com alguma concentração de água em pontos preferenciais; escoamento concentrado em microcanais sem cabeceiras definidas; escoamento concentrado em microcanais com cabeceiras definidas. A ação contínua e conjunta dos mecanismos causadores de erosão faz com que essas ravinas evoluam para um estágio mais avançado de processo erosivo, as voçorocas.

Segundo Guerra (2001), as voçorocas são processos erosivos relativamente permanentes, cujos canais apresentam paredes laterais íngremes e, em geral, fundo

chato, com fluxo de água no seu interior durante os eventos chuvosos. Para Bigarella e Mazuchowski (1985), as voçorocas originam-se de um desequilíbrio hidrológico, causado principalmente pela ocupação das terras com remoção generalizada da cobertura vegetal. Vários são os fatores responsáveis pelo surgimento das voçorocas, entre eles, têm-se o mau uso da terra, as queimadas e o superpastoreio que, associados ao tipo de chuva e as propriedades do solo, culminam no surgimento de processos erosivos.

O desenvolvimento de voçorocas ocorre principalmente por incisão originada pelo fluxo concentrado em porções da encosta onde o gradiente de fluxo ou descarga da água de escoamento aumenta repentinamente (MOEYERSONS, 1991; THOMAS, 1994). À medida que a água converge para dentro da cabeceira de uma incisão, o aumento do gradiente local e de descarga provoca o recuo da cabeceira. O fluxo superficial concentrado atua sob as paredes e piso da cabeceira da voçoroca, escavando caneluras e ressaltos em materiais mais coesos.

Outra forma de origem das voçorocas está associada à erosão causada pelo escoamento subsuperficial. Na medida em que o fluxo de água se concentra e cria rotas preferenciais em subsuperfície, ele dá origem a dutos (*pipes*). Com a intensa retirada de sedimentos pelo escoamento subsuperficial, esses dutos aumentam seu diâmetro, ocasionando o colapso do material de superfície, originando voçorocas. Uma terceira origem de formação de voçorocas é descrita por Vittorini (1972, *apud* Guerra, 2001), que mostra a origem de voçorocas, na Itália, a partir de antigos deslizamentos de terra. As cicatrizes, deixadas nas paredes íngremes geradas pela remoção do material deslizado, tornam-se rotas preferenciais do fluxo de água concentrado proveniente de tempestades subseqüentes ao deslizamento, podendo originar voçorocas.

Em relação às dimensões (profundidade e largura) de voçorocas e ravinas, Guerra (2001), segundo classificação tradicional internacional, diz que ravinas seriam incisões de até 50 centímetros de largura e profundidade, enquanto que voçorocas apresentariam dimensões acima desses valores. Goudie (1985), não atribui limites precisos entre ravinas e voçorocas. Ele propõe que ravinas podem ser obliteradas pelo uso de máquinas agrícolas enquanto que as voçorocas não. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), diz que as voçorocas correspondem a um

estágio mais avançado e complexo de erosão, cujo poder destrutivo é superior ao dos outros processos e, portanto, de mais difícil contenção. Ainda segundo o Instituto, as voçorocas são sulcos profundos com surgência de água de subsuperfície (IPT, 1989). Apesar desses valores e limites propostos, Guerra (2001) propõe o estabelecimento de valores para cada região, em especial, para voçorocas oriundas da expansão de ravinas.

Em função dos conceitos mais largamente difundidos e aceitos na comunidade acadêmica, nesse trabalho optou-se por utilizar a definição dimensional como critério básico para distinção entre ravinas e voçorocas, portanto, os processos erosivos atuantes na área de estudo caracterizam-se por processos de erosão por voçorocas, em virtude de apresentarem profundidade e largura superiores a 50 cm.

1.1.4 Depósitos de encosta

Para Bigarella e Mazuchowski (1985), a erosão passa por três estágios que não podem ser vistos separados. Primeiramente haveria a retirada do material, depois o transporte e finalmente a deposição. Segundo Camargo (2005), minerais, sedimentos orgânicos e fragmentos de rocha, quando transportados por um meio móvel e acumulados, formam os depósitos. Para Bertran e Texier (1999), os processos deposicionais nas encostas estão, em geral, relacionados a processos como escoamento superficial, ravinamento, voçorocamento e movimentos de massa.

Discutindo acerca dos depósitos de encostas, Selby (1994) e Paisani e Oliveira (2001), dizem que as ravinas e pequenas voçorocas geram, na base de encostas, pequenos depósitos que variam de poucas dezenas de centímetros a poucos metros de comprimento. Isso ocorre em virtude das pequenas dimensões da área de captação a montante da erosão. Nesses depósitos, o material é, em geral, de tamanho entre silte e areia. Onde as voçorocas são maiores e situadas em setores com declividade mais acentuada na encosta e que apresentam, ocasionalmente, alto fluxo relacionado a tempestades, podem ocorrer fragmentos de maior calibre (SELBY, 1994).

Em relação aos processos deposicionais relacionados às voçorocas, De Ploey (1984), estabeleceu modelo de deposição no qual se observa que a sedimentação geralmente ocorre de forma gradual ao longo do canal. Grandes fragmentos de rocha foram encontrados na parte final do leito do canal, enquanto que o depósito, enriquecido de material fino, é encontrado mais a jusante do canal, em baixos ângulos. Sobre as taxas de sedimentação em encostas, nas quais ocorrem voçorocas, Vandekerckhove *et al.* (2000), dizem que as taxas de sedimentação são altas, e isso ocorre, principalmente, em virtude do elevado teor de fragmentos de rocha fornecido no escoamento. Ainda sobre o processo de sedimentação em encostas, Prosser *et al.* (2000), afirmam que mais de 90% da carga sedimentar é resultante do colapso de materiais das bordas de voçorocas, aumentando significativamente com o aumento da profundidade da incisão.

Os depósitos de encosta relacionados com incisões têm, em geral, características que são amplamente controladas pela área fonte, cuja modificação por selecionamento e fragmentação durante o transporte são geralmente pequenas. Nesse ambiente, os depósitos são, geralmente, de espessura reduzida, sendo o contrário verificado apenas nos casos em que tenham ocorrido taxas importantes de erosão encosta acima (CAMARGO, 2005). O principal controle da textura dos sedimentos constituintes dos depósitos de encostas é a própria textura dos materiais da área fonte, sendo que possíveis variações locais de descarga permitem a formação de lentes delgadas de sedimentos de calibres diferentes (SELBY, 1994). Ainda segundo o autor, a curta distância, em geral percorrida pelos materiais nesses processos, faz com que raramente os depósitos de ravina e escoamento difuso apresentem carga de fundo, enquanto que em depósitos provenientes das voçorocas, podem ocorrer lentes alternadas de material grosso e fino, as quais estão relacionadas às flutuações de descarga durante as chuvas e enxurradas, ou a variações no fornecimento de material.

Entre os processos responsáveis pela formação de depósitos em encostas, estão inseridos ainda os movimentos de massa, que incluem tanto movimentos lentos quanto movimentos rápidos de solo e fragmentos de rocha. Entretanto, podem ocorrer alterações dos materiais transportados, e isso se dá em virtude da perda de água durante o movimento, o que provoca decréscimo da capacidade de transporte de carga do fluxo; ou a incorporação de novos fragmentos (CAMARGO

FILHO, 2005). Segundo Selby (1994), o material transportado pode, também, sofrer acréscimo de água durante o transporte, tornando o fluxo menos viscoso.

Os depósitos de encostas relacionados a incisões preservam informações aplicáveis no reconhecimento e caracterização do seu ambiente de formação. Nessa perspectiva, seu estudo assume importante papel na compreensão e elucidação dos processos de encosta que atuaram no período de sua formação e ainda, segundo Moura et al. (1990), no âmbito das encostas, o registro sedimentar preserva, de maneira menos subjetiva, informações a respeito da história erosiva e deposicional.

Ainda sobre a dinâmica das encostas, diferentes processos podem gerar estruturas macroscópicas e microscópicas as quais, quando estudadas e caracterizadas de forma acurada, fornecem informações importantes para a elucidação dos processos na encosta. Contudo, para diferenciar essas estruturas, é necessário usar critérios variados, tais como, macroscopia e microscopia de textura, granulometria, etc. (BERTRAN e TEXIER, 1999). O estudo do ambiente físico onde se originaram as estruturas sedimentares significa, principalmente, determinar as condições hidrodinâmicas nas quais os sedimentos foram depositados (SUGUIO, 1982). Para Reineck e Singh (1980), o meio de transporte e o meio de deposição são os fatores mais importantes a serem considerados no estudo de estruturas de sedimentação.

Muitas estruturas sedimentares se originam de processos que envolvem movimento de água ou ar que ocorreram durante a deposição. Outras são formadas por processos físicos posteriores à deposição inicial (BOGGS JUNIOR, 1992). São classificadas, basicamente, em primárias e secundárias. As estruturas sedimentares primárias (ou singenéticas) são aquelas originadas por processos físicos atuantes durante o processo de deposição, enquanto que as secundárias (ou epigenéticas) são formadas após o processo de sedimentação, podendo ser originadas pouco ou muito tempo depois que ocorreu a deposição. Existem também as estruturas sedimentares biogênicas primárias e secundárias e as estruturas sedimentares de origem química, que também podem ser secundárias (SUGUIO, 1982). Segundo Boggs Junior (1992), as estruturas sedimentares primárias excedem em número e variedade as estruturas secundárias.

Pettijohn e Potter (1964) incluem em estruturas sedimentares primárias várias espécies de marcas de superfície, formas de camadas e estratificação. Estão incluídas também as estruturas produzidas pelas atividades dos organismos (bioturbação) e estruturas de deformação penecontemporâneas, produzidas após a deposição, mas antes da consolidação dos sedimentos (REINECK e SINGH, 1980). Para as estruturas sedimentares primárias, baseando-se em sua origem física inorgânica, Selley (1988) elaborou a classificação mostrada na tabela 2.

Tabela 2. Classificação de estruturas sedimentares primárias baseada na origem física inorgânica.

Grupos	Exemplos	Origem
Pré-deposicional (Intra-estratal)	Canais Escavação ou preenchimento Turboglifos Marcas de sulco Marcas de objetos Marca ondulada	Principalmente erosiva
Sindeposicional (Intra-estratal)	Maciça Estratificação plana Estratificação cruzada Estratificação gradacional Laminação plana Laminação cruzada	Principalmente deposicional
Pós-deposicional (Deformadas)	Escorregamento e deslizamento Estruturas de deformação plástica Laminação convoluta Acamamento convoluto Camadas frontais recumbentes Estruturas de sobrecarga	Principalmente deformacional
Miscelânea	Marcas de pingo de chuva Gretas de contração Diques clásticos Boudinage, etc	

Fonte: Modificado de Selley (1988).

Na perspectiva de que as estruturas sedimentares herdaram características do seu ambiente de formação, por meio de seu reconhecimento e caracterização, é possível interpretar os processos geomorfológicos que induziram sua formação.

1.2 Voçorocas descontínuas

As formas resultantes dos processos erosivos retratam o resultado mais expressivo da erosão no sistema encosta: rede de ravinas e voçorocas. As voçorocas podem ser classificadas em desconectadas e conectadas da rede de drenagem; tem-se, no primeiro caso, a erosão comandada pela ação da água de escoamento superficial, ao passo que, no segundo caso, a erosão é controlada principalmente pela ação da água de escoamento subsuperficial (OLIVEIRA e MEIS, 1985). As voçorocas podem, em alguns casos, ocorrer de forma descontínua, e esse processo é determinado em função das características do seu ambiente de formação, como declividade da encosta, cobertura vegetal, aspectos climáticos e características do solo.

O sistema de voçorocas descontínuas se caracteriza pela descontinuidade do “canal” ao longo da encosta. Nesse sistema, freqüentemente o “canal” é levemente mais profundo do que extenso, e apresenta uma decrescente profundidade em direção à baixa encosta (MILLER *et al.*, 1963). Segundo Miller *et al.* (1963), no momento em que ocorre uma redução brusca de declividade e quando a profundidade da voçoroca atinge valores mínimos, ocorre a formação de depósitos na desembocadura do canal. Nesse momento, o fluxo de água se apresenta de forma difusa e dá ao material depositado a simetria de um cone. O canal, que se inicia na cabeceira e que tem um depósito em forma de cone na sua desembocadura, representa uma seção no sistema de voçoroca descontínua, sendo que esse processo não ocorre sistematicamente ao longo da encosta.

Schumm e Hadley (1957) citados por Miller *et al.* (1963), descreveram a descontinuidade de voçorocas como um fenômeno semicíclico, no qual a aluviação do terreno da voçoroca desenvolve localmente um gradiente muito íngreme para ser estável, e se desgasta por erosão. Eles sugeriram que o depósito formado na desembocadura da voçoroca descontínua tem um gradiente local mais íngreme do que a média para o vale, nessa perspectiva, o depósito é uma das características do local onde podem se formar novas voçorocas, devido ao gradiente local.

Em uma encosta sem voçoroca, uma debilidade da vegetação, uma trilha de gado, queimadas ou uma tempestade excepcional, pode originar uma incisão inicial

causada pela erosão. As chuvas subseqüentes podem dar origem a uma cabeceira nessa cicatriz inicial, que pode avançar encosta acima, e os materiais, erodidos e transportados pelo fluxo, são depositados na desembocadura do canal, na forma de um cone (Miller *et al.*, 1963). Esse processo pode ocorrer simultaneamente em vários pontos ao longo da encosta. No estágio inicial de desenvolvimento da voçoroca, o canal tem profundidade considerável, mas uma largura restrita. Na medida em que o processo continua através do tempo, o estágio final será atingido quando a cabeceira da voçoroca, à jusante, encontrar a desembocadura de outra voçoroca, ocorrendo a união dos dois canais.

Os setores de descontinuidade no sistema de voçorocas descontínuas são ocupados por terreno não erodido e depósitos. A formação desses depósitos está atrelada às condições ambientais predominantes no local, como características da encosta, condições climáticas, propriedades do solo, cobertura vegetal e todos os fatores que influenciam na dinâmica dos processos erosivos e deposicionais das encostas. Nessa perspectiva, a caracterização dos depósitos é de fundamental importância nas pesquisas geomorfológicas em virtude de que, por meio de sua adequada caracterização e interpretação, pode-se dar ênfase a uma das principais questões da geomorfologia: compreender as relações entre processos e formas resultantes (SELBY, 1994).

1.3 Caracterização de depósitos de encosta por meio da micromorfologia

Atualmente, na Geomorfologia, é cada vez mais crescente a gama de recursos utilizados no estudo dos processos erosivos e das formas que deles resultam. Esses recursos têm constituído importantes instrumentos aplicáveis ao estudo dos corpos pedológicos e estruturas oriundas de processos nas encostas.

No tocante ao reconhecimento de estruturas sedimentares, algumas podem ser identificadas e caracterizadas em campo, por meio de uma descrição mais acurada, outras, por sua vez, necessitam de técnicas específicas para serem reconhecidas e corretamente caracterizadas. Nas últimas décadas, a análise micromorfológica tem sido difundida no meio científico, se estabelecendo como uma ferramenta aplicável no estudo de depósitos e estruturas sedimentares.

De acordo com Castro (1999), a micromorfologia de solos corresponde à análise microscópica de materiais pedológicos ou de formações superficiais, efetuada a partir de lâminas delgadas, com auxílio de equipamentos óticos, principalmente de microscópio ótico polarizante, tipo petrográfico.

Estudos de micromorfologia de solos e sedimentos partem de detalhados levantamentos e descrições de campo. Unidades de solo e sedimento devem ser compreendidas como um corpo dinâmico e tridimensional. Sedimentos e solos possuem uma complexa relação, com informações cuja ordem de grandeza varia do quilômetro (km) a micra (μ) e ao Ângstron (Å) (CAMARGO, 2005). Em virtude disso, a construção de seções sistemáticas e perfis em encostas devem incluir abordagens micro e ultramicroscópicas (CASTRO, 1999).

Segundo Castro (1999), a micromorfologia de solos destina-se a compreender as micro organizações pedológicas e sedimentares, trabalhando com constituintes e organizações cujas medidas vão dos milímetros (mm) à micra (μ). Com essa ordem de grandeza é possível o detalhamento dos agregados do horizonte do solo, bem como lâminas e lentes de sedimentos e suas relações, contribuindo nas deduções acerca dos processos de sedimentação e pedológicos (CAMARGO, 2005). Para Fitzpatrick (1984), nos estudos geomorfológicos, a micromorfologia tem importante papel nas pesquisas relacionadas tanto aos processos erosivos quanto deposicionais, contribuindo na elucidação dos processos de encosta.

Muitos componentes importantes do solo - exceto gases e líquidos -, podem ser observados em lâminas delgadas (CAMARGO FILHO, 2005). De acordo com Castro (1999) e Bullock *et al.* (1985), são reconhecidos os seguintes grupos constituintes: componentes básicos e microestrutura, incluindo agregados, poros e pedofeições. Esses constituintes, quando reconhecidos e interpretados de maneira acurada, fornecem informações acerca dos processos atuantes na sua formação e, dentro dessa perspectiva, estabelece-se a proposta de caracterização dos depósitos de cones de dejeção na encosta Guairacá, com o intuito de reconhecer e compreender a dinâmica dos processos erosivos instalados na área.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Analisar depósitos de encostas associados a voçoroca descontínua localizados na encosta Guairacá, no município de Guarapuava – PR, com o intuito de elucidar a dinâmica dos processos erosivos na encosta.

Objetivos Específicos

- Interpretar as condições hidrodinâmicas que originaram estruturas e os depósitos em forma de cones de dejeção da voçoroca.
- Determinar as taxas de evolução da voçoroca.
- Determinar origem do processo erosivo na encosta.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE GUARAPUAVA E DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Caracterização geográfica e geológica do município de Guarapuava

Localizado no centro-sul do estado do Paraná (Figura 2), em um dos compartimentos do Terceiro Planalto Paranaense ou Planalto de Guarapuava (MAACK, 1981), possui um território de 3.154 Km² e população de 164.772 habitantes (IBGE 2006) sendo que 8,2% vivem na área rural.

As altitudes no município variam de 1300 m no reverso da Escarpa da Esperança (Leste do município) e 940 m em sua porção Oeste.

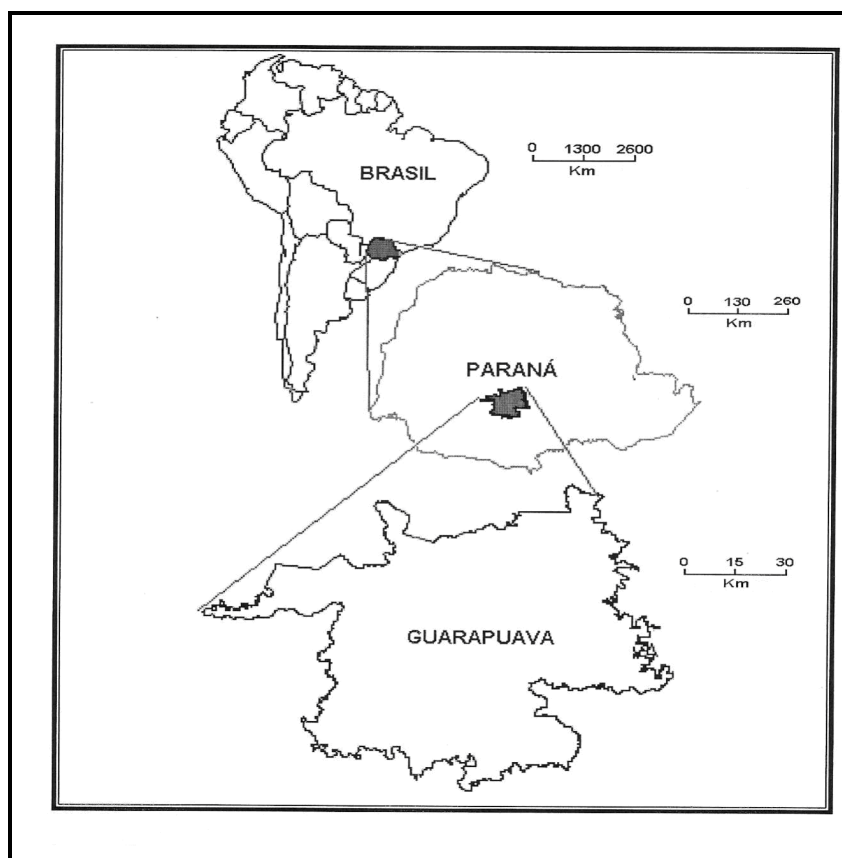


Figura 2. Mapa de localização do Município de Guarapuava.

Fonte: Prefeitura Municipal de Guarapuava, 2004.

2.1.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos

O Terceiro Planalto Paranaense, apesar da uniformidade aparente no aspecto de sua superfície, foi dividido por Maack (1981), baseado na hidrografia, em cinco subzonas naturais, representadas pelos blocos planálticos de Cambará e São Jerônimo da Serra; Planalto de Apucarana; Planalto de Campo Mourão; Planalto de Palmas e Planalto de Guarapuava (Figura 3). Como limites naturais dessa última unidade, têm-se no Norte o rio Piquirí, no Sul o rio Iguaçu, no Oeste o rio Paraná e no Leste os divisores da Escarpa da Esperança (CAMARGO FILHO, 1997).

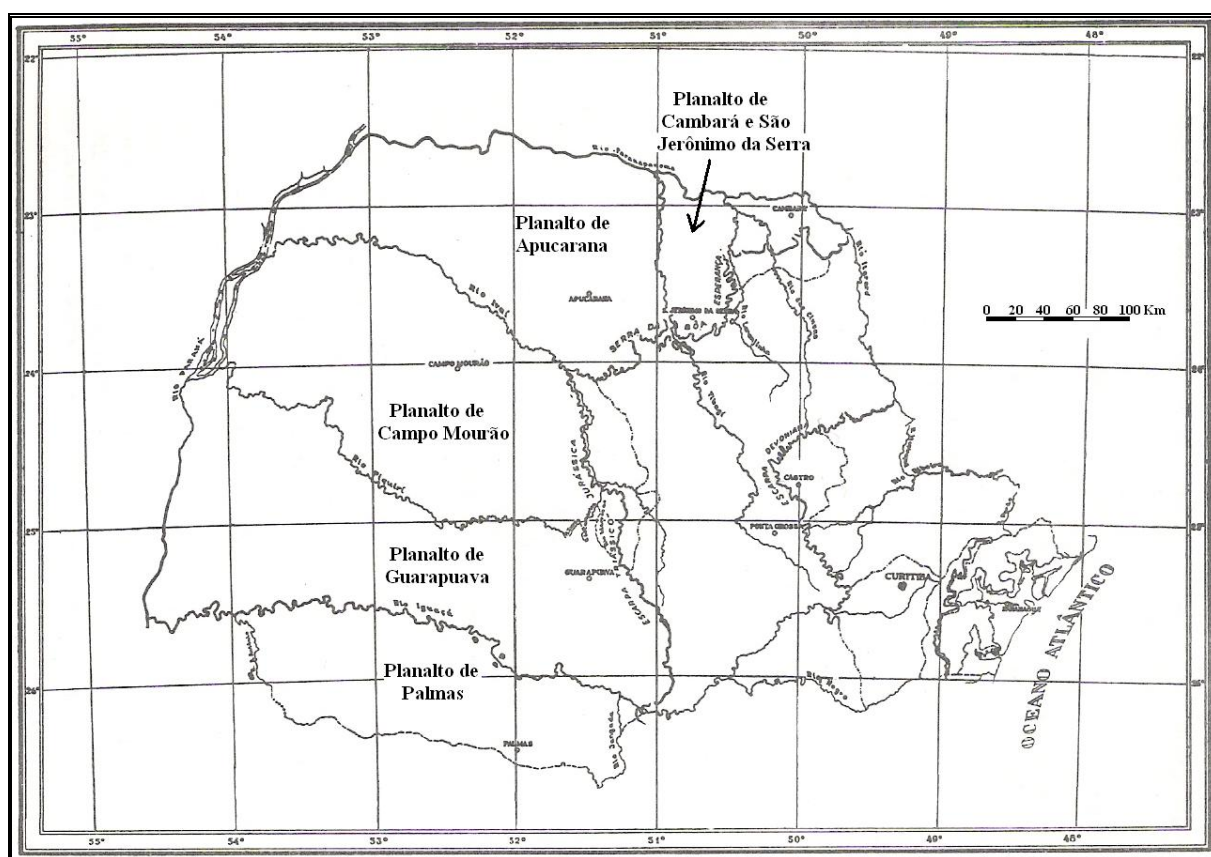


Figura 3. Representação das subzonas naturais do Terceiro Planalto Paranaense.

Fonte: Modificado de Maack (2002).

O Município de Guarapuava assenta-se sobre uma seqüência de rochas vulcânicas referentes à Formação Serra geral do Grupo São Bento. A maior parte do município encontra-se sobre as rochas provenientes dos derrames de lava da Formação Serra Geral, datadas do final do Jurássico e início do Cretáceo (MELFI, *et al.* 1988). Tal vulcanismo gerou diferentes tipos de rochas, sendo que no município

de Guarapuava podem ser encontradas seqüências ácidas (riodacitos) e seqüências básicas (basaltos) (NARDY, 1995).

A característica estrutural das rochas influencia a morfologia local. No trecho Leste-sudeste do município, o terreno apresenta-se bem dissecado, enquanto no trecho Norte-nordeste, o relevo é moderado a suavemente dissecado (CAMARGO FILHO, 1997).

No tocante aos solos do município de Guarapuava, estudos feitos por Muller e Pott (2004), revelam a presença de NEOSSOLOS, NITOSSOLOS, NEOSSOLOS REGOLÍTICOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS. Os solos apresentam-se argilosos, muitas vezes plásticos e pegajosos e ricos em ferro (Fe) (MULLER e POTT, 2004).

Em relação à hidrografia, na área abrangida pelo município de Guarapuava, a drenagem superficial é comandada pelas redes dos rios Piquiri e Iguaçu. Dentre os vários afluentes do rio Iguaçu encontra-se o rio Jordão, cuja importância local deve-se ao fato do mesmo ser responsável pela drenagem de grande parte do município de Guarapuava. Seus principais afluentes são os rios das Mortes e das Pedras, que drenam o trecho nordeste do município; o rio Bananas e o rio Pinhão, situados, respectivamente, a leste e sul; e os rios Coutinho e São João, que drenam o noroeste do município (CAMARGO FILHO, 1997).

2.1.2 Revestimento vegetal

O Planalto de Guarapuava apresenta como vegetação natural os campos gramíneo-lenhosos e as matas de Araucária.

Os campos do Terceiro Planalto Paranaense, de acordo com a Classificação Fisionômico-Ecológica Neotropical Brasileira (VELOSO e GOES-FILHO, 1982), estão inseridos na Região Ecológica das Savanas, mais especificamente, a Estepe Gramíneo-Lenhosa, que se constitui em “florestas de galeria de porte baixo flanqueando alguns canais fluviais. O estrato herbáceo é constituído por duas sinúsias graminóides: a dos hemicriptífitos e a dos geófitos, ambas apresentando pilosidade nas folhas e colmos, o que sugere uma adaptação ao ambiente relativamente seco” (VELOSO *et al.*, 1991, p. 96), caracterizado por solos com perfis

razos em virtude de que a pouca disponibilidade de água para o sistema acaba por influenciar o processo pedogenético.

No município de Guarapuava, encontra-se também floresta remanescente do tipo subtropical perenifólia, onde predominam árvores de porte como imbuía e cedro, além da presença de vegetação campestre subtropical, com diversidade de gramíneas.

2.1.3 Aspectos climáticos

De acordo com Maack (1981), a divisão climática do estado do Paraná, baseada nos tipos climáticos de W. Köppen, está descrita na tabela 3.

Tabela 3. Divisão climática do estado do Paraná.

Af	Compreende a zona litorânea; é clima pluvial tropical, úmido o ano todo e o mês mais frio com temperatura superior a 18°C.
Cwa	Abrange o norte e noroeste do estado; o clima é “temperado quente”, com estação seca de inverno e temperatura do mês mais frio superior a 18°C.
Cfa	Abrange a porção oeste do estado e parte da região norte; o clima é “temperado úmido” sem estação seca e temperatura do mês mais frio superior a 18°C.
Cfb	Abrange parte do Primeiro, Segundo e Terceiro Planalto, nas cotas altimétricas mais elevadas; o clima é “temperado úmido”, sem estação seca e média do mês mais frio inferior a 18°C.

Adaptado de MAACK (2002).

O clima de Guarapuava é caracterizado como subtropical úmido (MAACK, 2002). O tipo climático segundo a classificação de Köppen é Cfb, ou seja, mesotérmico, úmido o ano todo e mês mais quente com temperaturas médias de 22°C. De acordo com os dados da Estação Agrometeorológica de Guarapuava, cujo acompanhamento é feito pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), a temperatura média foi entre os anos de 1976 e 2005 de 17°C e teve uma oscilação, nesse intervalo de tempo, entre 17,5°C e 15,9°C. Os meses mais quentes são janeiro e fevereiro, já as temperaturas mais baixas ocorrem de abril a outubro (THOMAZ e VESTENA, 2003). Para o ano de 2006, dados coletados do IAPAR, mostraram que a temperatura média anual foi de 17,10°C, sendo a temperatura mais

elevada registrada no mês de setembro (31,7°C) e a temperatura mais baixa em junho (-3,1°C).

No tocante à precipitação, de acordo com Thomaz e Vestena (2003), entre os anos de 1976 e 2000, Guarapuava apresentou média de 1.961mm. Os anos de 1983 (3.168,4 mm) e 1998 (2.456,6 mm) foram os mais chuvosos, e os anos de 1985 (1262,1 mm) e 1988 (1.308 mm), os menos chuvosos. Segundo Nery *et al.* (2002), o mês mais chuvoso é outubro, sendo que a precipitação se distribui de forma uniforme durante o resto do ano.

2.2 A área de estudo

A encosta Guairacá é uma área que pertence à bacia do Rio das Pedras. Esta bacia hidrográfica tem uma área de aproximadamente 330 km² e está situada entre as latitudes 25°13'10"S e 25°26'24"S e longitudes 51°13'10"W e 51°28'40"W (Figura 4).

Em relação à morfologia da bacia, Camargo *et al.* (2004, p.53) afirmam que:

[...] na bacia do Rio das Pedras, a morfologia do terreno é marcada por morros pouco extensos, e, moderadamente dissecada, no setor próximo à escarpa da Esperança. Nesta área da bacia, as vertentes são convexo-retilíneas, podendo estender-se por mais de 1.500 metros. Não raro, estão conectadas a amplas áreas de várzeas, que dão origem a pequenas nascentes, que alimentam os afluentes do rio das Pedras. No trecho oeste e noroeste, o relevo torna-se mais dissecado, formando imensos vales cujas vertentes, predominantemente convexo-retilíneas, se estendem dos divisores de águas até os canais fluviais. Estas vertentes podem ser entrecortadas por patamares estruturais (basalto), ou mesmo pequenas elevações constituídas de matacões e blocos de basalto, recobertos por gramíneas e arbustos. Como na porção norte noroeste da bacia, a região sul sudoeste é constituída por extensos vales estruturais, com vertentes convexo-retilíneas, que culminam em sucessivos patamares estruturais, até atingirem os rios. Em alguns setores dessa porção da bacia, os rios encontram-se encaixados em lineamentos tectônicos, que acabam formando pequenas gargantas ou *canyons*, que se estendem por 1 ou 3km, com profundidades que variam de 40 a 70 metros [...]

A área de estudo está localizada a 11 km da Br 277, às margens da estrada de acesso à localidade do Guairacá, distrito do município de Guarapuava (Figura 4).

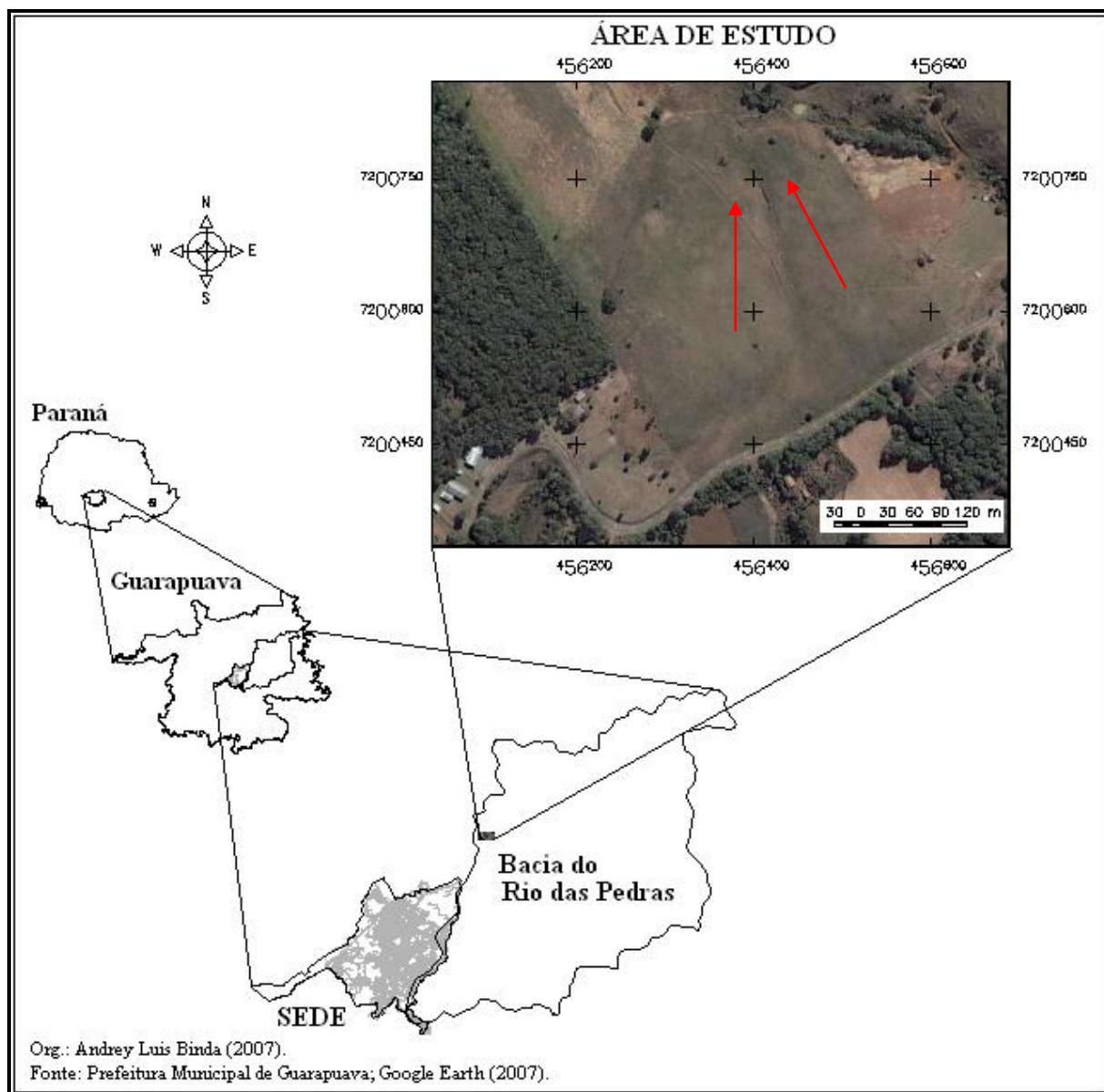
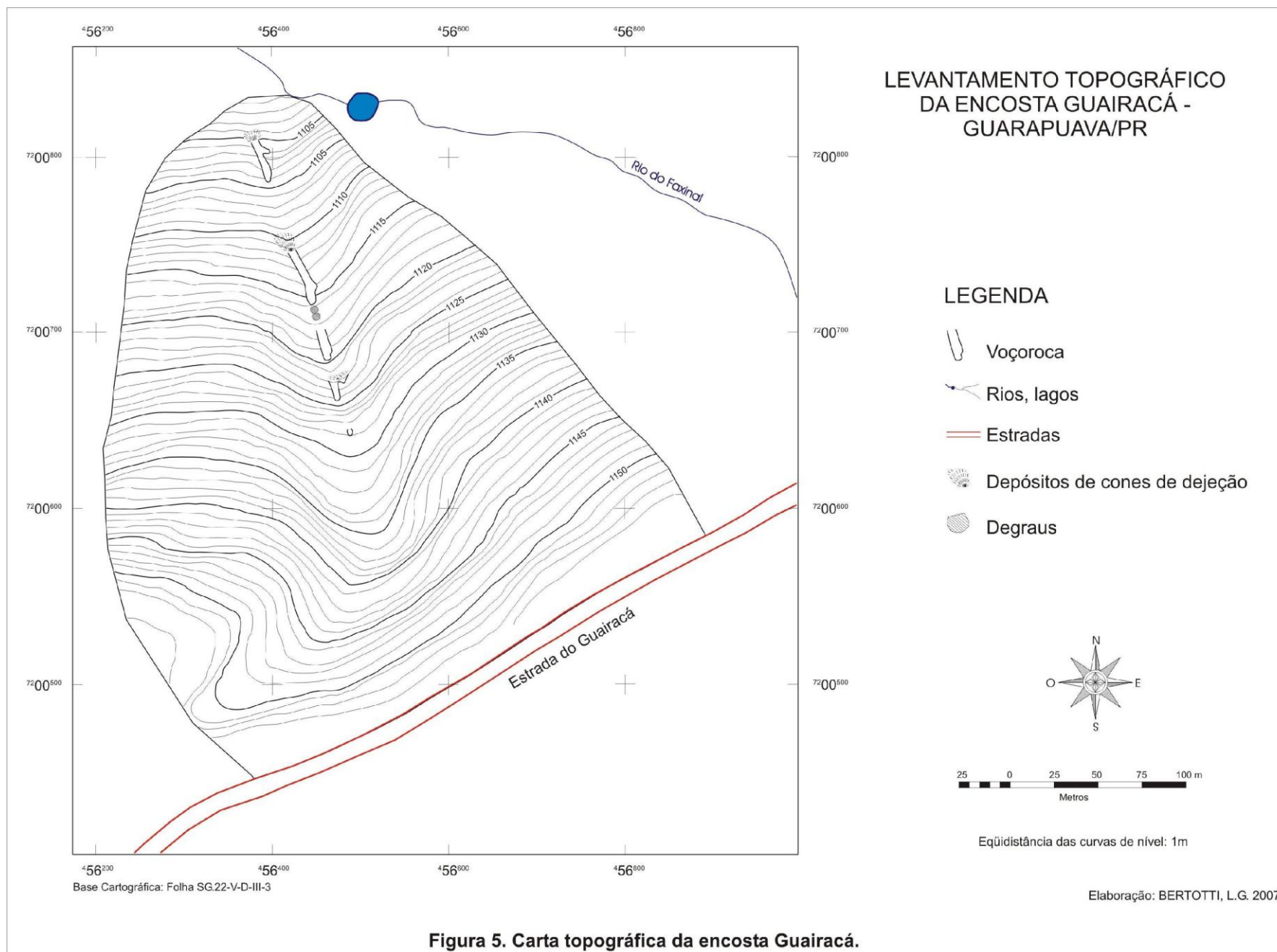


Figura 4. Mapa de localização da bacia do Rio das Pedras e da área de estudo.
 (As setas indicam o caimento da encosta, a direção de fluxo)

A encosta Guairacá (Figura 5) apresenta uma declividade média de 15% e nela está instalada incisão erosiva descontínua, que em vários setores apresenta paredes laterais abruptas e fundo chato. O mapa representado na Figura 6 apresenta as declividades nos setores da encosta onde estão instaladas as incisões.



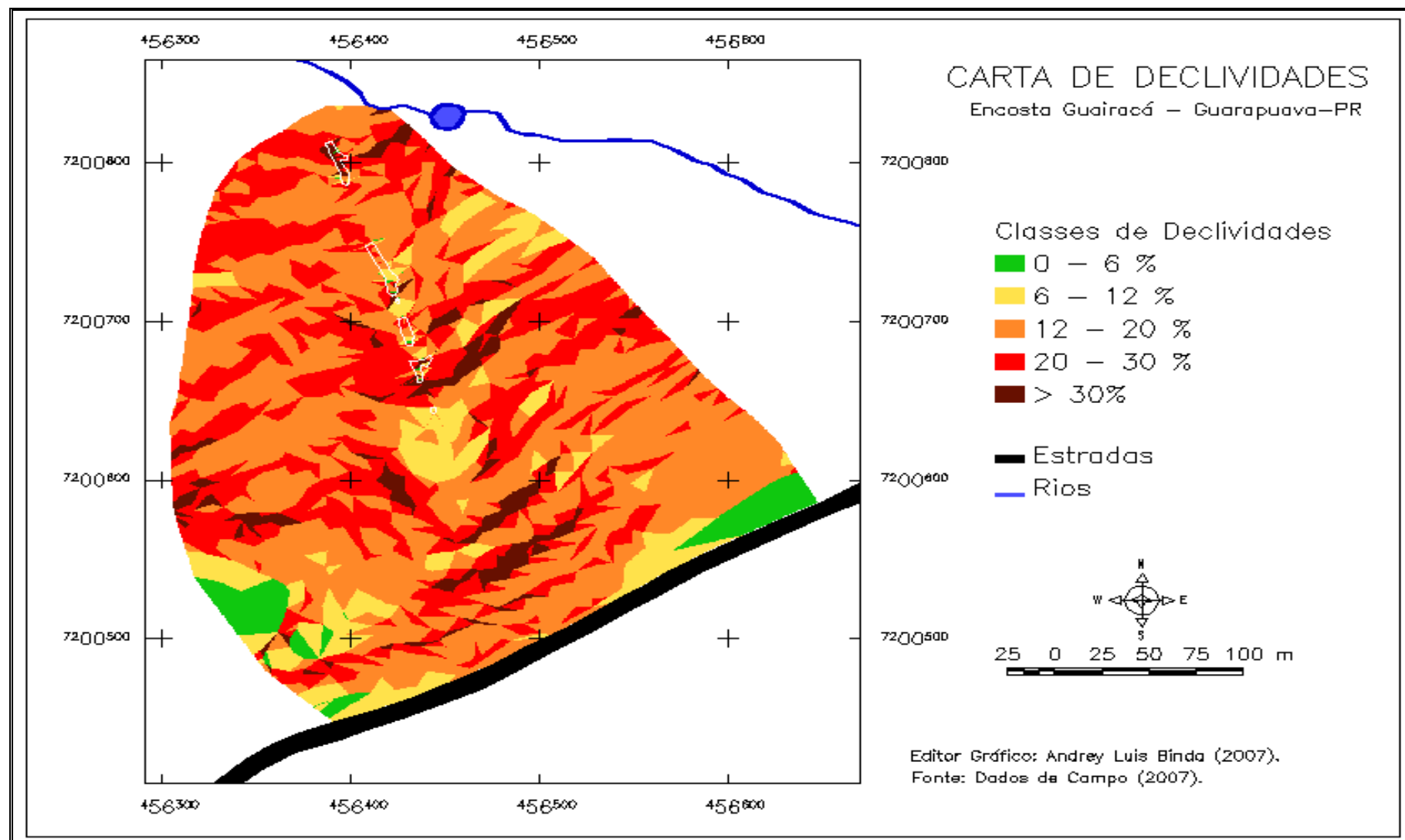


Figura 6. Mapa das classes de declividades da encosta Guairacá.

Trata-se de voçoroca com alguns setores que atingem o embasamento rochoso, o qual é constituído por basaltos alterados, que não raro apresentam esfoliação esferoidal. Os afloramentos de rocha geralmente são localizados da média para a baixa encosta, em setores da voçoroca que apresentam profundidades que variam de 1,5 m a 2,0 m. A encosta tem forma convexo-côncava e possui 250 metros de extensão (MASCARELLO e CAMARGO FILHO, 2004).

O solo na área de estudo é utilizado para o plantio de *Pinus* e a vegetação dominante é gramínea e vassouras (tupixabas, capoeiras), sendo essas, típicas de áreas desflorestadas da Floresta Aciculifoliada Subtropical ou Floresta Ombrófila Mista.

CAPÍTULO III

TÉCNICAS UTILIZADAS NA CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS E DA FEIÇÃO EROSIVA

O propósito de caracterizar os depósitos sedimentares que ocorrem na encosta Guairacá teve origem nos estudos de reconhecimento e caracterização dos processos de erosão em ravinas e voçorocas atuantes na bacia do Rio das Pedras. A caracterização dos depósitos assume importante papel na compreensão dos processos erosivos reconhecidos na encosta. Com o intuito de atingir os objetivos propostos para o trabalho, as técnicas utilizadas na pesquisa foram divididas em atividades de gabinete, de campo e de laboratório, as quais estão descritas a seguir:

3.1 Técnicas

3.1.1 Atividades de campo

Os trabalhos de campo foram realizados com o intuito de se fazer um reconhecimento e caracterização geral da área de estudo, bem como compreender melhor os aspectos relacionados à erosão e à formação dos depósitos. Para tanto, foi efetuado o levantamento topográfico da área, a construção de seção sistemática em seções abertas nos depósitos, coleta de amostras deformadas e amostras indeformadas para análises laboratoriais, descrição de campo, sondagens com trado holandês, monitoramento dos volumes de solo e sedimento erodidos da voçoroca e monitoramento dos índices pluviométricos.

3.1.1.1 Levantamento topográfico da encosta Guairacá

Para esse trabalho foi adotada a técnica de nivelamento geométrico. Tal técnica opera por meio de direções ou visadas horizontais. Utilizou-se o nível de precisão, podendo ser usado o nível de mão e o teodolito com o jogo de réguas.

Esse levantamento implica mudanças sucessivas do aparelho, numa associação de nivelamentos geométricos simples. Os limites utilizados para o levantamento topográfico da encosta foram os divisores de água, inicialmente demarcados em fotografias aéreas na escala 1:20.000 do ano de 2003 (via estereoscopia) e posteriormente corrigidos em campo e a calha fluvial denominada Rio do Faxinal.

3.1.1.2 Seção sistemática

As seções sistemáticas foram construídas em seções abertas nos setores da encosta ocupados por depósitos e em parede da voçoroca. A construção dessas seções sistemáticas se iniciou com a limpeza do perfil com enxada. Posteriormente, a parede do perfil foi alisada com faca para que as estruturas sedimentares pudessem ser identificadas. Na seqüência, com o uso de clinômetro, foi materializada uma linha guia na porção central do perfil, constituindo nível de referência. Estabelecida a linha guia, foram analisados perfis, cujas características foram representativas de toda a seção levantada. Esses perfis forneceram amostras deformadas, as quais foram destinadas à análise granulométrica, com o objetivo de identificar possíveis variações na textura dos materiais que compõem as unidades constituintes dos perfis e também amostras indeformadas para análise micromorfológica, que tiveram por objetivo principal fazer descrição mais acurada das microestruturas constituintes do material que compõe as unidades dos perfis analisados.

3.1.1.2.1 Descrição de materiais em campo

Construídas as seções sistemáticas, elas foram minuciosamente descritas. Nos trabalhos de descrições foram caracterizadas as propriedades físicas dos solos e sedimentos, baseadas na cor, textura, cerosidade, porosidade, presença de nódulos ou concreções, consistência, presença de raízes ou cavidades de raízes (VIEIRA E VIEIRA, 1983).

3.1.1.2.2 Coleta de material para análises de laboratório

a) Amostras deformadas para análise granulométrica

As amostras foram coletadas da base para o topo dos perfis a fim de evitar contaminação das mesmas. Em média coletou-se 500g do material que compõe cada unidade dos perfis ou seções sistemáticas.

b) Amostras indeformadas para análise micromorfológica

As amostras indeformadas foram coletadas da base para o topo das seções, de forma a evitar a contaminação das amostras. A técnica de coleta compreende a construção de caixas de cartolina com 11x5x5 cm. Nessas caixas, após a individualização com auxílio de faca, as amostras foram encaixadas e extraídas na forma de “monolitos”, sem que houvesse a perturbação ou alteração do material. Na sequência, elas foram envolvidas em papel filme e acondicionadas em caixas transportadoras. Nas caixas receptoras das amostras foi anotada a procedência, data de coleta e orientação das amostras em relação ao topo das unidades.

3.1.1.3 Sondagem com trado holandês

Esse trabalho foi realizado com o intuito de reconhecer as unidades de solo e sedimentos que formam a média e baixa encosta. Com o equipamento (trado holandês), que possui capacidade de perfuração de 5 m, foi possível atravessar o conjunto de sedimentos e solo que recobre a encosta e atingir o substrato rochoso. Em cinco incursões a campo foram efetuados 20 furos de sondagem. Os trabalhos de sondagem consistiram na perfuração do solo e sedimento e retirada de material a cada 21 cm de profundidade nos furos. O material retirado foi descrito em formulário apropriado (Anexo I), em que se observaram textura, cor (*Munsell Color Soil Chart*), tipos de manchas, estrutura, teor de umidade, plasticidade, cerosidade, presença de concreções, raízes e composição mineralógica dos constituintes visíveis à vista desarmada. Uma parte desse material foi acondicionada em pedocomparador para posterior trabalho em gabinete. Também nesse trabalho, foram coletadas amostras

destinadas a análises granulométricas. Cada furo de sondagem foi amarrado ao levantamento topográfico da encosta, para construção de topossequências e representação gráfica das sondagens na encosta.

3.1.1.4 Monitoramento dos volumes de solo e sedimento erodidos na voçoroca

O acompanhamento dos volumes de solo e sedimento erodidos na voçoroca se fundamentou na estimativa dos volumes de perda de solo e sedimento das bordas, cabeceiras e interior das incisões durante o período de um ano hidrológico. Para esse trabalho foi adotada a técnica dos pinos fixos (GUERRA e CUNHA, 1996). Tal técnica consistiu na instalação de estacas a 50 cm das margens e das cabeceiras das incisões (Figura 7), as quais permitiram acompanhar a evolução das bordas e das cabeceiras. Para monitorar os volumes de erosão dentro do canal, foram instalados pinos feitos a partir de vergalhão de aço, com 50 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro. (Figura 8).



Figura 7. Estacas instaladas a 50 cm das bordas da voçoroca para monitoramento dos volumes de solo erodidos nas bordas e nas cabeceiras da incisão.

Foto: Wellington Barbosa da Silva, 2006.



Figura 8. Pinos fixos utilizados para o monitoramento dos volumes de erosão dentro do canal.

O trabalho de monitoramento foi feito por meio da medição dos pinos e estacas com o auxílio de uma trena de mão. No caso das estacas, os volumes de solo erodido das bordas e das cabeceiras foram determinados pela variação da distância entre as estacas e a margem ou a cabeceira da incisão. Já os volumes de solo e sedimento erodidos dentro da incisão foram determinados pela variação da altura do pino medido em superfície. O monitoramento foi realizado pelo período de um ano hidrológico, compreendido entre 08/2006 e 08/2007.

3.1.1.5 Monitoramento dos índices pluviométricos

O trabalho de monitoramento dos índices pluviométricos foi realizado com auxílio de pluviômetro instalado na área de estudo. A coleta dos dados foi feita duas vezes ao dia: a primeira às 07h00min e a segunda às 17h00min, e teve por finalidade, correlacionar as taxas de erosão e o surgimento de mecanismos causadores de erosão com os índices pluviométricos e suas respectivas intensidades.

3.1.2 Ensaio de laboratório e procedimentos para preparação de materiais

A seguir, será descrita a metodologia adotada para as análises laboratoriais dos materiais.

3.1.2.1 Análise granulométrica

Segundo Suguio (1973), o termo granulometria significa medida de tamanho de grãos. Também conhecida como análise granulométrica, permite estabelecer a distribuição quantitativa das partículas num dado ambiente sedimentar ou pedológico. Os dados contribuem na interpretação da gênese e propriedades do depósito; igualmente, permite verificar as possíveis variações laterais e verticais da sua textura.

A análise granulométrica foi feita nas dependências do Laboratório de Geomorfologia Aplicada da Universidade Estadual do Centro – Oeste, UNICENTRO. A rotina adotada pelo laboratório segue as orientações do Manual de Métodos de Análise de Solo, do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos da EMBRAPA (1979), adaptadas para estudos sedimentológicos. A análise granulométrica descrita na técnica segue uma combinação de análise com fase de peneiramento e de sedimentação.

Inicialmente as amostras foram levadas à estufa para secagem, onde permaneceram sob temperatura de 105°C durante 48 horas, para eliminação da umidade. Na seqüência efetuou-se a desagregação mecânica preliminar com o auxílio de gral de porcelana envolto em borracha, de forma a evitar a destruição e alteração dos grãos individuais, reduzindo a amostra à terra fina. O material maior ou igual a 4 mm (seixo) foi separado e pesado, e os valores obtidos foram registrados em formulário próprio (Anexo II). O material foi depositado em cartucho plástico identificado. O material com dimensão inferior a 4 mm foi separado através do amostrador de Jones, donde foram retirados 50 gramas de material. Esta porção de sedimentos foi então fracionada considerando o diâmetro dos componentes, segundo a escala de Wentworth (1922). O procedimento de separação dos sedimentos por via seca envolveu um conjunto de 5 peneiras sobrepostas com malhas quadradas e diâmetros decrescentes (2,0 mm: grânulo; 1,00 mm: areia muito

grossa; 0,5 mm: areia grossa; 0,25 mm: areia média; 0,125 mm: areia fina; 0,053 mm: areia muito fina), com tampa no topo do conjunto e cuba de recepção na base. O conjunto de peneiras foi montado sobre vibrador eletromecânico que, após deposição das amostras na peneira de maior calibre no topo do conjunto, foi acionado por 15 minutos. Os fragmentos retidos em cada peneira foram pesados, acondicionados em sacos plásticos identificados e os valores anotados em formulário próprio (Anexo II). O material retido na cuba, localizada na base do conjunto, foi pesado e depositado em copo plástico (300 ml) junto de uma solução dispersante de 25 ml de água destilada e deionizada e 25 ml de hidróxido de sódio (NaOH), permanecendo em repouso por 16 horas. Após este período, o material foi separado por via úmida (lavado), em peneira com malha de 0,053 mm de diâmetro. O material retido na peneira (areia muito fina) foi colhido em placa de Petri e levado à estufa para secagem a temperatura constante de 60°C. Após a secagem, a placa foi pesada, e os valores obtidos anotados em formulário próprio (Anexo II). O material restante, que ficou retido em cuba própria, foi levado à proveta, e o volume, quando necessário, completado com água destilada e deionizada até atingir 1000 ml, para posterior pipetagem.

Durante a pipetagem, a temperatura ambiente foi mantida a 21°C, calculando-se a partir desta temperatura, segundo a lei de Stokes, das velocidades de decantação das partículas, o tempo necessário para se efetuar as pipetagens. Neste caso, o tempo calculado para a coleta das partículas, segundo seus tamanhos, foi de 1 min 55 seg., 7 min 40 seg., 30 min 40 seg., e por fim, 1h 1min 19 seg. respectivamente.

As amostras, contidas em provetas de 1.000 ml, foram agitadas durante um minuto, a partir do qual se procedeu a contagem do tempo necessário a coleta das partículas. Cada uma das quatro pipetagens ocorreu a uma profundidade de 10 cm, onde se coletou, com o auxílio de uma pipeta, 50 ml de material, que foi depositado em copos de Becker previamente pesados. Esses copos, posteriormente, foram levados à estufa para secagem a uma temperatura de 60°C. Efetuada a secagem das amostras, essas foram pesadas em balança de precisão e os dados anotados em formulário apropriado (Anexo II). A diferença entre os pesos dos beckers sem a amostra e depois com a amostra, foi a quantidade de material coletado. O peso de

cada fração granulométrica foi transferido para planilha do *software* Microsoft Office Excel. Esse *software*, previamente programado para essa função, efetuou os cálculos de frequência simples e acumulada da cada amostra, assim como forneceu histogramas de distribuição granulométrica na escala ϕ .

De acordo com Suguio (1973), a análise granulométrica fornece dados que podem ser agrupados em três classes granulométricas: areia, silte e argila, então, o sedimento pode ser representado por um ponto em diagrama triangular. Neste trabalho foi adotado o diagrama triangular de Shepard (1954), adaptado por Bigarella (1966).

3.1.2.2 Impregnação de amostras indeformadas de solo para microscopia e micromorfologia e confecção de lâminas delgadas

As amostras indeformadas de solo depois de coletadas, sob a forma de monolitos (para preservar sua estrutura), foram transportadas até o Laboratório de Geomorfologia Aplicada da Universidade Estadual do Centro – Oeste, UNICENTRO, onde, de acordo com os procedimentos estabelecidos no próprio laboratório, baseados em Castro (1999), foram impregnadas.

Em virtude de as amostras vindas de campo possuírem algum conteúdo de água e de que a maioria das resinas é hidrófoba, é necessário fazer a extração da água de tais amostras. O procedimento adotado para essa etapa da impregnação, é deixar as amostras em repouso, secando ao ar.

Depois de secas, as amostras foram colocadas em uma caixa de alumínio (geralmente marmitex de alumínio) e levadas a dessecador conectado a bomba de vácuo. Submetidas à pressão negativa, as amostras foram impregnadas por ascensão capilar. O material utilizado para impregnação das amostras foi uma solução à base de resina de poliéster (45%) e monômero de estireno (55%). Essa solução, onde foram adicionadas três gotas de catalisador, foi misturada com bastão de vidro. Posteriormente, a solução foi inserida paulatinamente na amostra indeformada, nos espaços vazios entre a parede da amostra e a caixa de alumínio. Esse procedimento foi repetido sucessivamente até o completo preenchimento da

amostra pela resina (CASTRO, 1999). Após a impregnação, a amostra foi deixada em repouso para secagem.

Depois do endurecimento a amostra foi fatiada, no sentido longitudinal ou transversal, em tabletes com espessuras de 0,4 cm. Os tabletes que melhor representaram as características das unidades reconhecidas foram enviados ao Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, onde foram confeccionadas as lâminas delgadas, com espessura de 30 μ , para posterior descrição micromorfológica.

3.1.2.3 Micromorfologia

De acordo com Castro (1999), a micromorfologia de solos corresponde à análise microscópica de materiais pedológicos ou de formações superficiais, efetuada a partir de lâminas delgadas, com auxílio de equipamentos óticos, principalmente de microscópio ótico polarizante, tipo petrográfico.

A análise microscópica é um método de estudo de amostras de solos e sedimentos não perturbados, que têm por objetivo identificar seus constituintes, determinar suas mútuas relações no espaço e no tempo e interpretar suas condições de formação (AGUILAR *et al.*, 2003).

Após a confecção, as lâminas delgadas foram descritas. Suas descrições foram feitas com o auxílio de microscópio petrográfico. As descrições micromorfológicas das lâminas delgadas foram feitas no Laboratório de Geomorfologia Dinâmica e Aplicada da Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, e tiveram por objetivo compreender as micro organizações pedológicas e sedimentares do material que compõe as unidades dos perfis analisados.

As análises micromorfológicas foram efetuadas baseando-se em rotina estabelecida por Castro (1999).

3.1.3 Atividades de gabinete

O trabalho de gabinete consistiu, inicialmente, no levantamento aerofotogramétrico da área no intuito de localizar formas erosivas e os depósitos. Para tanto foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:20.000 do ano de 2003. Além desse trabalho, os dados de campo e de laboratório foram parcialmente tabulados e correlacionados, resultando em gráficos e tabelas. Ainda em gabinete, foram confeccionados os mapas utilizados no trabalho e o levantamento do acervo bibliográfico utilizado na pesquisa, bem como, sua leitura crítica.

3.1.3.1 Construção de topossequências

Também em gabinete foi feita a construção das topossequências, efetuadas a partir das informações de campo e descrições das sondagens. Por meio da caracterização dos materiais é possível reconhecer as diferentes unidades sedimentares e solo que recobrem a encosta. Para esse trabalho, utiliza-se do material acondicionado em pedocomparador, que contribui na individualização das unidades.

CAPÍTULO IV

RECONHECIMENTO DE UNIDADES SEDIMENTARES E PEDOLÓGICAS DE VERTENTE E DE DEPÓSITO DE CANAL NA ENCOSTA GUAIRACÁ

Para um entendimento da distribuição das unidades sedimentares e pedológicas na encosta, foram realizadas 20 sondagens e abertura de 03 trincheiras. Duas toposseqüências foram feitas no sentido transversal a encosta e uma no sentido longitudinal. As trincheiras foram abertas em setores ocupados por depósitos e outros setores da encosta (Figura 9).

4.1 Toposseqüências

4.1.1 Toposseqüência longitudinal

Compreende a toposseqüência I.

4.1.1.1 Toposseqüência I

Foi construída longitudinalmente à encosta. Essa toposseqüência é composta pelos furos F1, F2, F3, F6, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17 e F18 (Figura 10). Estende-se por 60 m, com desnível de 12 m entre os furos F1 e F18. Entre os furos F3 e F6, foi aberta a Trincheira 1. Por meio da descrição de campo do perfil analisado da Trincheira 1, foi possível reconhecer 10 unidades aloestratigráficas com sutis distinções. Essas unidades não foram identificadas nas sondagens. Por meio das sondagens foram reconhecidas 5 unidades, porém, em nenhuma foram identificados indícios de depósito, como as características apresentadas pelas unidades reconhecidas no perfil analisado da Trincheira 1.

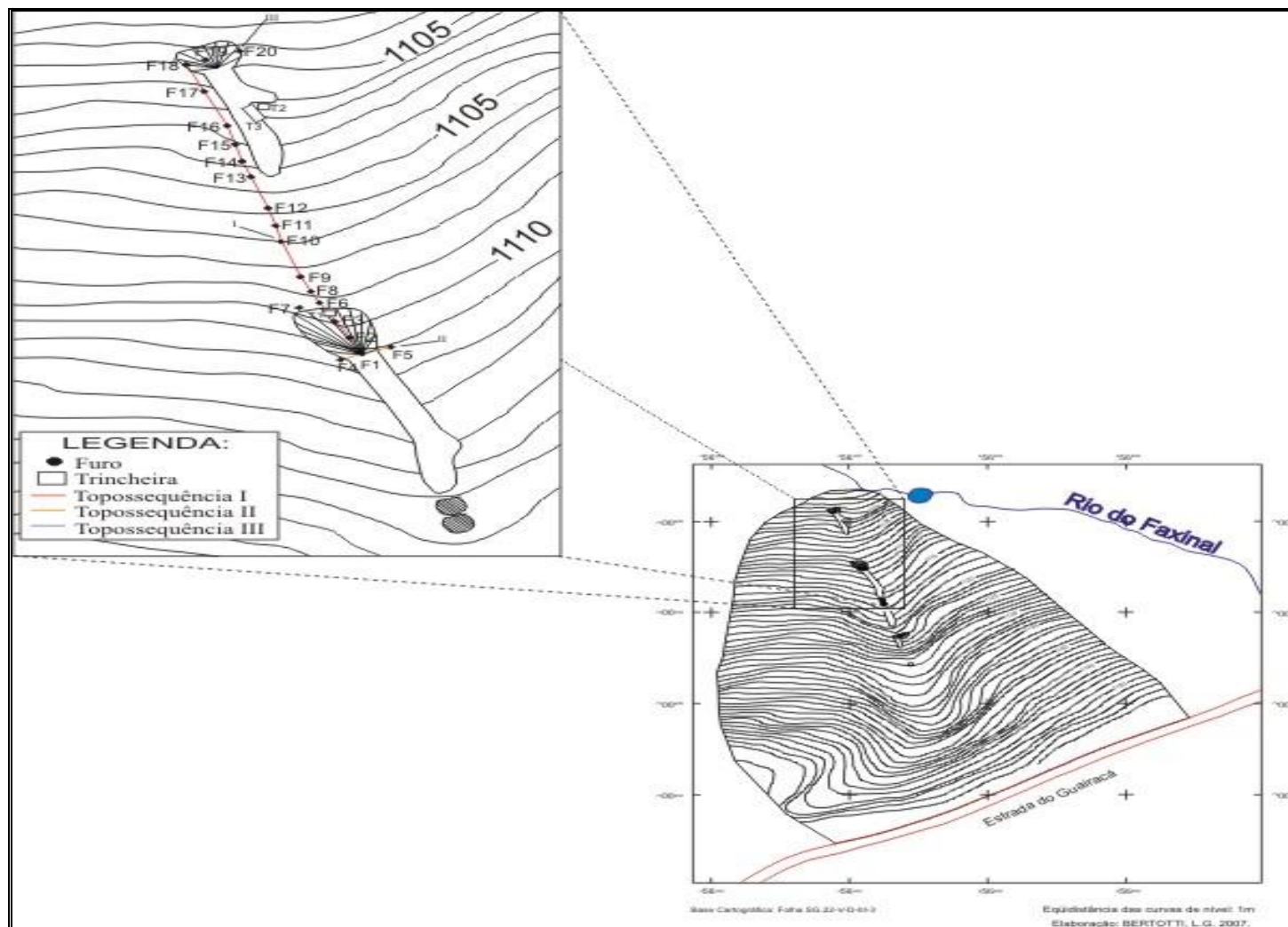
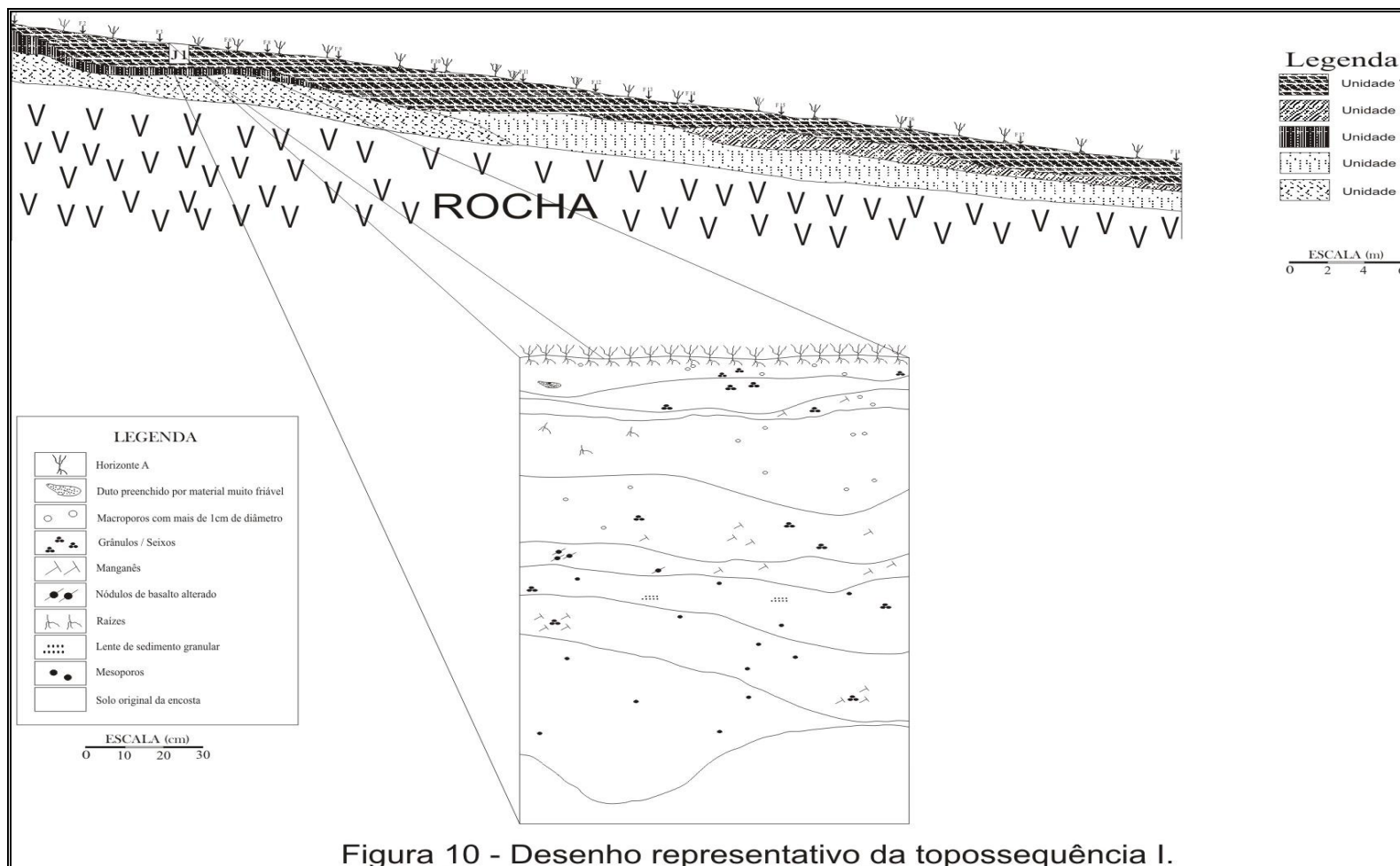


Figura 9. Localização das sondagens e das trincheiras na encosta.



Foram as seguintes as unidades reconhecidas por meio das sondagens:

A unidade I foi identificada nos setores entre os furos F1 e F11. A textura do material que compõe a unidade é siltica-argilo-arenosa. A cor é 5YR 4/6 (vermelho-amarelada). A umidade é maior em relação às outras unidades e a plasticidade média. Os tipos de manchas são em torno de 10%, com a cor 7.5YR 5/8 (bruna - forte). Na unidade II, localizada nos setores compreendidos entre os furos F10 e F18, a textura é siltica-arenosa e a cor dominante é 5YR 4/6 (vermelho-amarelada), com tipos de manchas de 15%, na cor 10YR 6/8 (amarela-brunada). A plasticidade é média. Em nenhuma das unidades foram identificados tipos de estruturas primárias. A unidade III foi encontrada nos setores compreendidos entre os furos F1 e F9. Nessa unidade, de textura siltica-argilosa, a cor predominante é 7.5YR 5/8 (bruna - forte), sem variação de cores. A umidade e a plasticidade são baixas. Em nenhum setor da unidade foi identificado algum tipo de estrutura. Na unidade IV, localizada entre os furos F14 e F18, a textura que predomina é siltica-areno-argilosa. A cor dominante é 7.5YR 4/6 (bruna - escura), com tipos de mancha em torno de 10%, com a cor 10YR 6/8 (amarela-brunada). A umidade aumenta e a plasticidade é média. A unidade V está presente em toda toposseqüência. Em todos os furos a unidade foi encontrada. Trata-se de material com textura argilo-siltosa. A cor que predomina na unidade é 5YR 3/4 (bruna – avermelhada), com leve mosqueamento de 5%, com a cor 7.5YR 5/8 (bruna - forte) nos setores compreendidos entre os furos F10 e F14. Em toda a unidade, a umidade, assim como a plasticidade, é baixa. O setor que corresponde ao F10 é o que apresenta maior profundidade, com 4,80 m, enquanto a profundidade do F1 é a menor, com 0,50 m.

A Tabela 4 mostra as principais características da toposseqüência I.

Tabela 4. Características da topossequência I.

UNIDADE	TEXTURA	PLASTICIDADE	COR DOMINANTE	COR NA TABELA	COR E PERCENTUAL DE MANCHAS	OBSERVAÇÕES
V	Argilo-siltosa	Baixa	Bruna - avermelhada	5YR 3/4	5% 7.5YR 5/8 (bruna-forte)	
IV	Síltica-areno-argilosa	Média	Bruna - escura	7.5YR 4/6	10% 10YR 6/8 (amarela-brunada).	Presença de grânulos e areia da fração fina
III	Síltica-argilosa	Baixa	Bruna-forte	7.5YR 5/8		
II	Síltica-arenosa	Média	Vermelho-amarelada	5YR 4/6	15%, 10YR 6/8 (amarela-brunada)	
I	Síltico-argilo-arenosa	Média	Vermelho-amarelada	5YR 4/6	10%, 7.5YR 5/8 (bruna-forte)	Aumento da umidade

4.1.2 Toposseqüências transversais

Compreendem as toposseqüências II e III.

4.1.2.1 Toposseqüência II

Foi construída transversalmente à encosta, na parte proximal do depósito localizado na extremidade inferior da seção de erosão 4 (Figura 9). É composta pelos furos F5, F1 e F4. Possui 3,0 m de extensão. O ponto de maior profundidade é o setor que compreende o F1, com 4,25 m de profundidade. Nessa toposseqüência foram identificadas 3 unidades aloestratigráficas com sutis características distintas (Figura 11).

A unidade I, que no F5 inicia a 1,70 m da superfície e atinge 3,75 m de profundidade nesse setor, no F1 tem início a 2,0 m e atinge uma profundidade de 4,25 m. No setor do F4, apresenta uma profundidade de 3,75 m. A textura que predomina na unidade é siltica-argilo-arenosa. A cor é 5YR 4/6 (vermelha-amarelada). A plasticidade é média. As manchas são em torno de 10%, com a cor 7.5YR 5/8 (bruna - forte). A unidade II, no setor do F5, tem início a 1,25 m e atinge uma profundidade de 1,70 m. No F1, essa unidade tem início a 0,50 m e o contato com a unidade subjacente ocorre a 2,0 m da superfície. Essa unidade, no F4, começa a 1,48 m e tem profundidade de 1,75 m. A textura da unidade é siltica-argilosa e a cor identificada é 5YR 3/4 (bruna - avermelhada). Nessa unidade, de umidade e plasticidade baixas, foram identificadas manchas de cor 7.5YR 5/8 (bruna-forte), 12%. A unidade III tem início no F5, atingindo 1,25 m da superfície. No setor do F1 a profundidade dessa unidade é 0,50 m, chegando a 1,48 m no F4. Essa unidade tem textura argilo-siltosa. A umidade, assim como a plasticidade, é baixa. Não foram identificadas manchas e a cor reconhecida na unidade é 5YR 3/4 (bruna - avermelhada). Nenhuma estrutura foi identificada nessa unidade.

A Tabela 5 mostra as principais características da toposseqüência II.

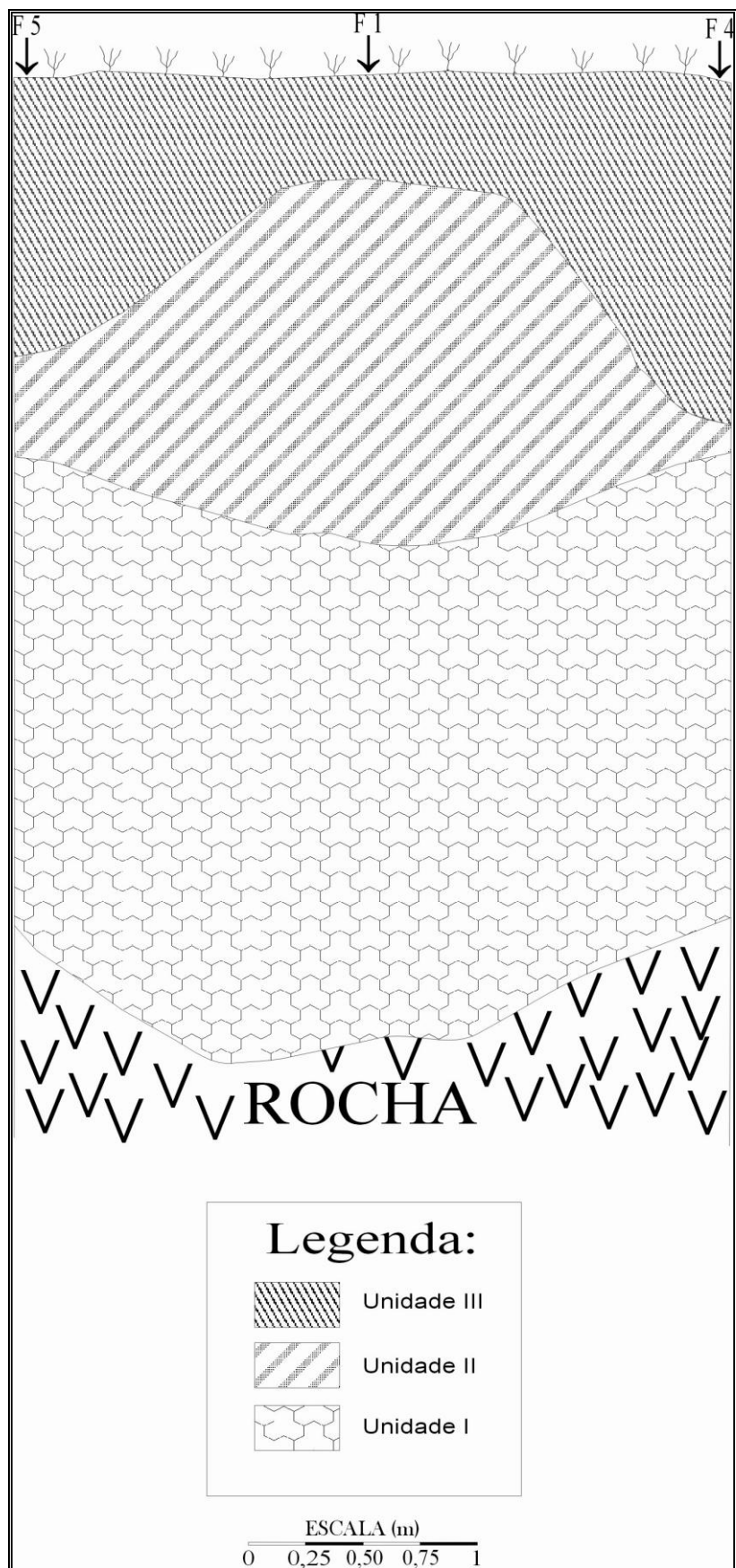


Figura 11. Desenho representativo da topossequência II.

Quadro 5. Características da topossequência II.

UNIDADE	TEXTURA	PLASTICIDADE	COR DOMINANTE	COR NA TABELA	COR E PERCENTUAL DE MANCHAS	OBSERVAÇÕES
III	Argilo-siltosa	Baixa	Bruna - avermelhada	5YR 3/4		
II	Síltica-argilosa	Baixa	Bruna - avermelhada	5YR 3/4	12% 7.5YR 5/8 (bruna - forte)	Presença de manganês (?)
I	Síltica-argilo- arenosa	Média	Vermelha- amarelada	5YR 4/6	10% 7.5YR 5/8 (bruna - forte)	

4.1.2.2 Toposseqüência III

Construída transversalmente à encosta, na parte proximal do depósito localizado na extremidade inferior da seção de erosão 5 (Figura 9), é constituída pelos furos F20, F19 e F18. Com extensão transversal de 4,0 m, tem a maior profundidade no setor do F18, onde atinge 3,48 m. Assim como na toposseqüência II, também foram identificadas 3 unidades aloestratigráficas com sutis distinções (FIGURA 12).

A unidade I possui profundidade de 3,15 m nos furos F20 e F19, atingindo 3,48 m no F18. Nessa unidade a textura é siltica-arenosa e a cor dominante é 5YR 4/6 (vermelho-amarelada), com percentual de manchas de 15%, na cor 10YR 6/8 (amarela-brunada). A plasticidade é média. A unidade II atinge 2,15 m de profundidade no F20; 2,40 m do F19 e F18. A textura é siltica-areno-argilosa. A cor dominante é 7.5YR 4/6 (bruna - escura), com percentual de manchas em torno de 10%, com a cor 10YR 6/8 (amarela-brunada). A umidade aumenta e a plasticidade, assim como na unidade subjacente, é média. A unidade III atinge 1,75 m de profundidade no setor do F20; 1,50 m no F19 e 1,48 m no F18. Essa unidade tem textura argilo-siltosa. A plasticidade e a umidade são baixas. A cor que predomina é 7.5YR 4/6 (bruna - escura) e nessa unidade não foram identificadas manchas. Em nenhuma das unidades foram identificados tipos de estruturas.

A Tabela 6 mostra as principais características da toposseqüência III.

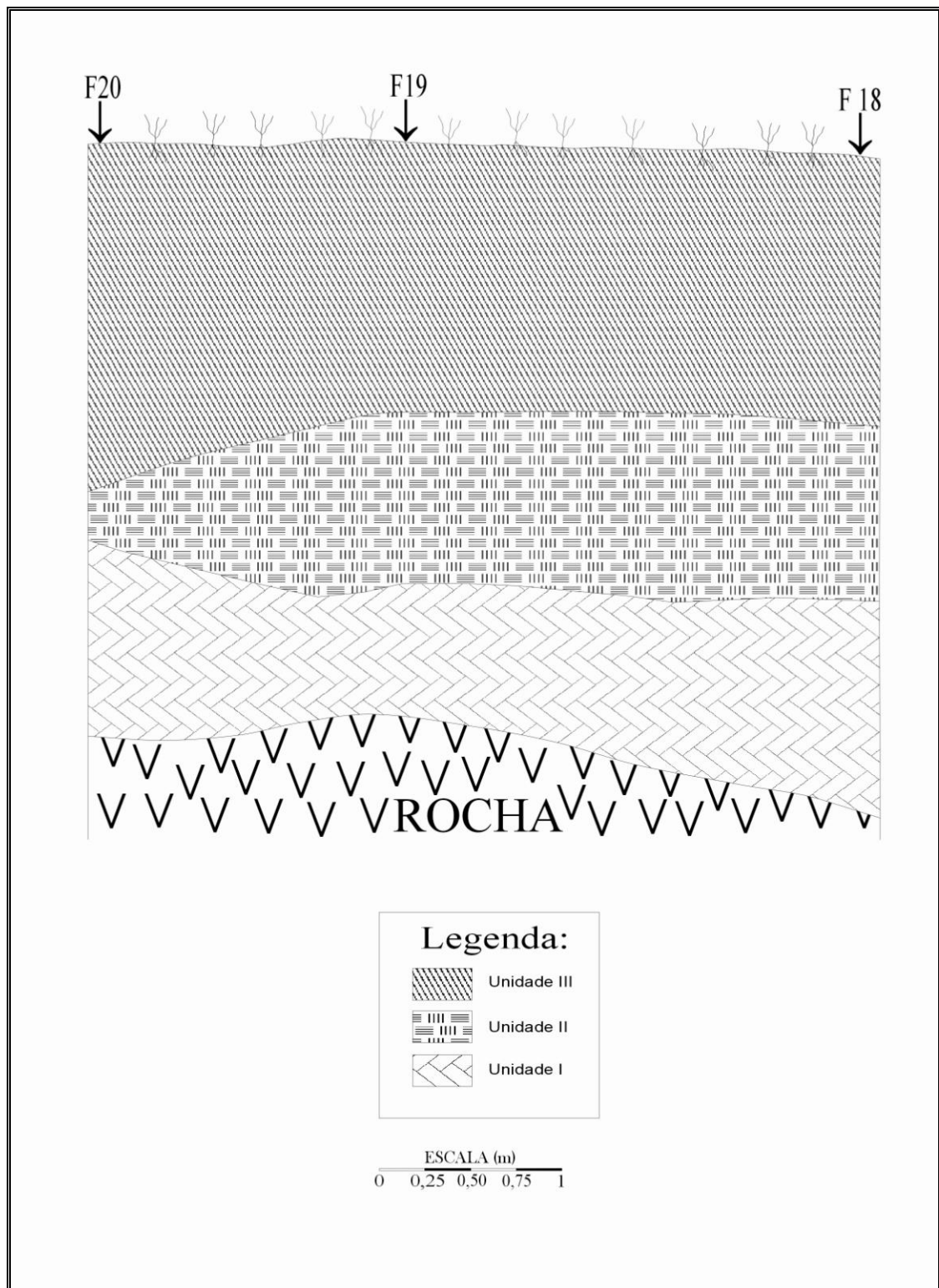


Figura 12. Desenho representativo da topossequência III.

Tabela 6. Características da topossequência III.

UNIDADE	TEXTURA	PLASTICIDADE	COR DOMINANTE	COR NA TABELA	COR E PERCENTUAL DE MANCHAS	OBSERVAÇÕES
III	Argilo-siltosa	Baixa	Bruna - escura	7.5YR 4/6		
II	Síltica-areno- argilosa	Média	Bruna - escura	7.5YR 4/6	10% 10YR 6/8 (amarela- brunada).	Aumento significativo da umidade
I	Síltica-arenosa	Média	Vermelho- amarelada	5YR 4/6	15% 10YR 6/8 (amarela- brunada)	

4.2 Descrições das unidades que constituem os perfis analisados

Para uma melhor compreensão das unidades pedológicas e sedimentares encontradas nos depósitos e na encosta, foram abertas 03 trincheiras com posterior descrição de seus perfis. As trincheiras foram denominadas de T1, T2 e T3 (Figura 9).

4.2.1 Caracterização do perfil analisado da Trincheira 1 (T1)

A Trincheira 1 foi construída em depósito localizado na extremidade inferior da seção de erosão de número 04. A trincheira foi feita com 1,50 m x 1,0 m x 1,0 m. O perfil analisado possui 1,50 m de profundidade e 1,0 m de largura. Na descrição de detalhe do perfil, foi possível reconhecer 10 unidades aloestratigráficas com características pedossedimentares que apresentam sutis distinções (Figura 13). Nesse perfil, de acordo com as características das unidades, foi possível delimitar um pacote sedimentar de aproximadamente 1,30 m de espessura. No sentido das unidades subjacentes para as unidades sobrejacentes, as unidades foram numeradas de I a X.

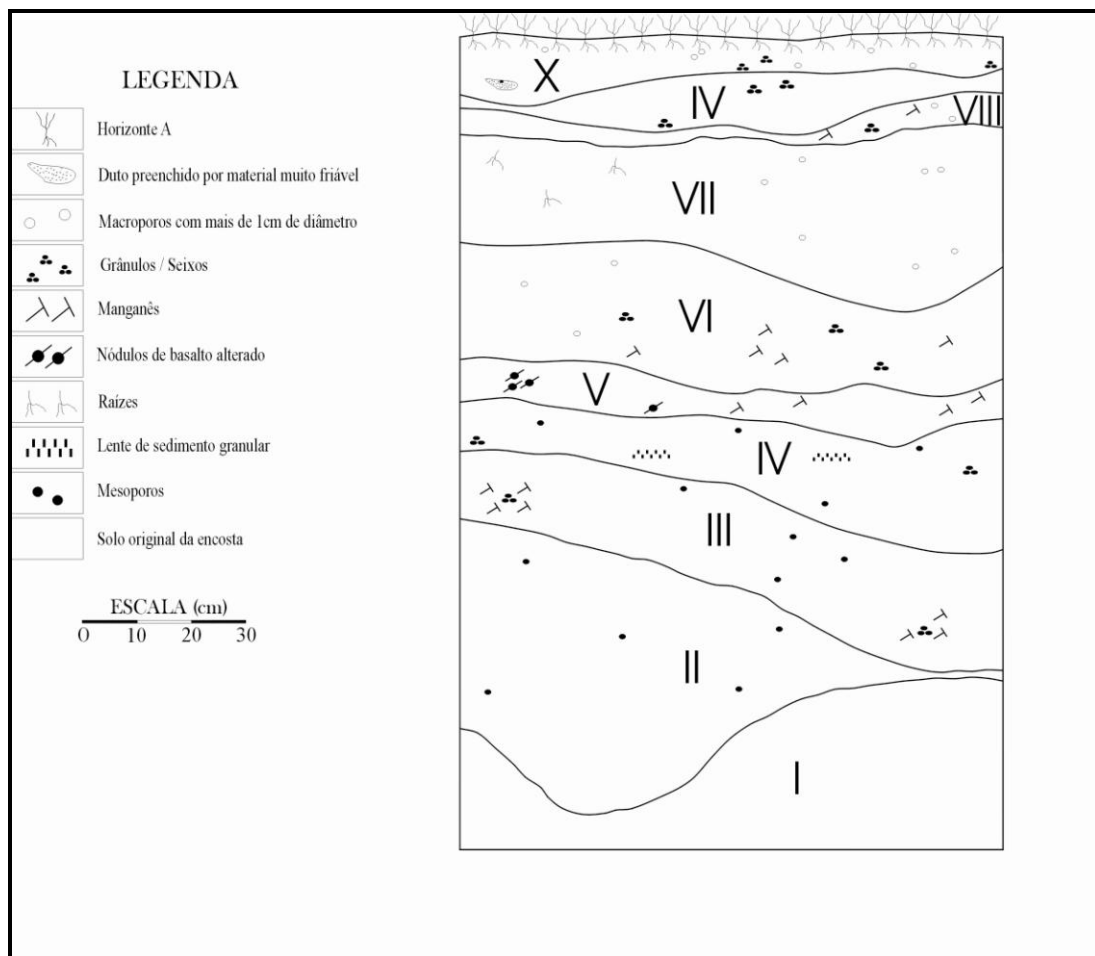


Figura 13. Desenho representativo de perfil analisado da Trincheira 1, localizada em depósito na extremidade inferior da Seção de erosão 04.

A **unidade I**, localizada a 1,30 m de profundidade, compreende o solo original da encosta. O material que compõe a unidade possui alta plasticidade, é maciço e oferece uma alta resistência à penetração de faca. A cor que predomina na unidade é 5YR 4/6 (vermelho-amarelada), sendo que a mesma não apresenta mosqueamento. Não foi identificada nenhuma estrutura na unidade I. Na **unidade II**, a 0,95 m da superfície, o material é granular, com característica de depósito aluvial. A cor é 5YR 4/6 (vermelho-amarelada). A plasticidade é menor em relação à unidade subjacente. Devido à característica granular do material que compõem essa unidade, pode-se tratar de preenchimento de paleo incisão. A **unidade III**, situada a 0,85 m de profundidade, apresenta um material mais compactado, de difícil penetração com faca, entremeado por feições granulares. O material é macroporoso. Nessa unidade, de cor 7.5YR 3/4 (bruna-escura), foram encontrados

seixos alterados de basalto, recobertos por película de manganês. Na **unidade IV**, a 0,70 m de profundidade, foi possível encontrar lente formada por sedimentos granulares. A unidade é mesoporosa, constituída basicamente por grânulos de várias origens. O material é muito friável com cor 7.5YR 4/6 (bruna-escura). A **unidade V**, localizada a 0,63 m da superfície, tem aspecto maciço. A cor é 7.5YR 4/6 (bruna-escura). Nessa unidade foram identificados pontos de manganês e nódulos de basalto alterado cobertos por manganês. Já a **unidade VI**, situada a 0,40 m de profundidade, é macroporosa. O material é granular com presença de seixos, grânulos e manganês. A cor é 7.5YR 3/4 (bruna-escura). Na **unidade VII**, que se encontra a 0,22 m de profundidade, foram encontradas algumas raízes. O material, de cor 10YR 3/6 (amarelada-bruna-escura), apresenta aspecto granular intercalado com torrões maciços. A unidade é macroporosa e muito friável. A **unidade VIII**, situada a 0,15 m de profundidade, apresenta material granular intercalado com material mais compactado. A unidade é menos friável em relação à unidade subjacente. Nessa unidade macroporosa, a presença de grânulos é menos de 1%. A cor na unidade é 5YR 4/6 (vermelho-amarelada). Na **unidade IX**, que se encontra a 0,12 m de profundidade, a cor é 5YR 4/6 (vermelho-amarelada). Apresenta poucos grânulos, de 3 a 5%, muito alterados. O material nessa unidade é pouco friável. A **unidade X** possui característica superficial, pertencendo ao horizonte A. Possui aspecto granular, muito bioturbada e com a presença de grânulos não arredondados, de 3 a 5%, e seixos muito alterados. O material é extremamente poroso e friável. Nessa unidade foi possível verificar a presença de túnel de aproximadamente 6 cm de diâmetro preenchido por material friável de textura mais fina e raízes. A cor do material que constitui a unidade é 7.5YR 3/4 (bruna-escura).

4.2.1.1 Distribuição granulométrica na Trincheira 1

A partir de amostras deformadas coletadas da T1, foram efetuadas análises granulométricas. Tal trabalho teve por objetivo principal verificar as variações na textura das unidades encontradas no perfil analisado. Para tanto, foram coletadas e tratadas 03 amostras para cada unidade. Os pontos de coletas das amostras deformadas no perfil analisado e a distribuição granulométrica de cada unidade estão na Figura 14.

Na unidade I, a 1,30 m de profundidade, a textura é areno-siltosa. A unidade II, localizada a 0,95 m da superfície, apresenta a mesma textura que a unidade subjacente. Assim como na unidade I e II, a unidade III, que está a 0,85 m de profundidade e a unidade IV, a 0,70 m da superfície, também apresentam textura areno-siltosa. Na unidade V, a 0,63 m de profundidade, a textura é argilo-siltosa, a mesma textura que predomina na unidade VI, localizada 0,40 m de profundidade. Na unidade VII, localizada a 0,22 m de profundidade, assim como na unidade VIII, que está a 0,15 m da superfície, a textura é siltica-argilosa. Na unidade IX, localizada a 0,12 m de profundidade, a textura é argilo-siltosa, sendo que na unidade X a textura que predomina é areno-siltosa.

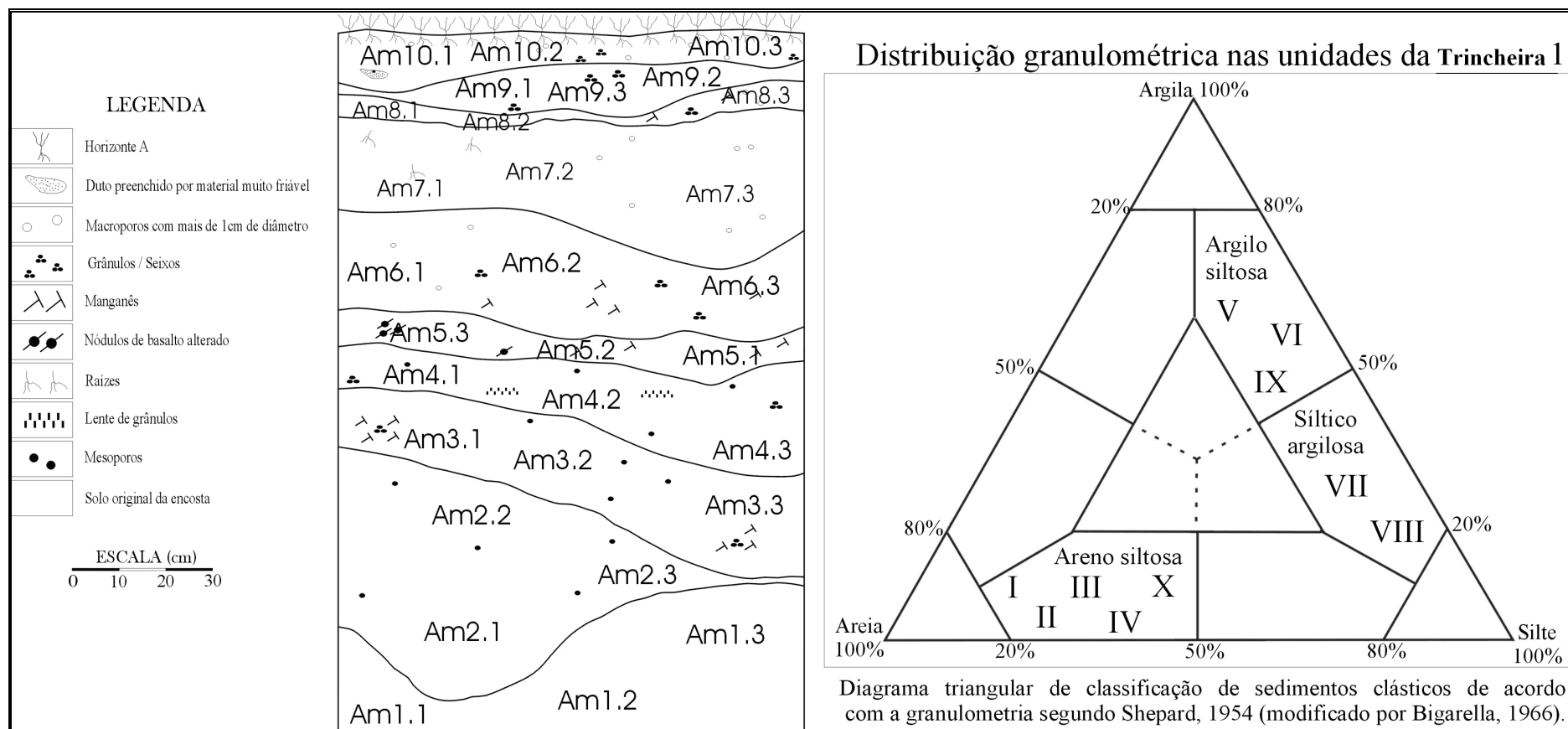


Figura 14. Distribuição granulométrica nas unidades do perfil analisado da Trincheira 1.

4.2.2 Caracterização do perfil analisado da Trincheira 2 (T2)

A Trincheira 2 foi construída próxima à última seção de erosão, denominada de seção 05, há aproximadamente 1,0 m da margem direita da incisão, mais precisamente, há 1,0 m da estaca de número 8 (Figura 9). A trincheira tem 1,50 m x 1,0 m x 1,0 m. O perfil analisado possui 1,50 m de profundidade e 1,0 m de largura. Na descrição de detalhe do perfil, foram identificadas 5 unidades com características aloestratigráficas distintas (Figura 15). No sentido das unidades subjacentes para as unidades sobrejacentes, as unidades foram numeradas de I a V.

Na **unidade I**, a cor é 7.5YR 4/6 (bruna-escura). Não foi verificada a presença de raízes nem de qualquer tipo de estrutura. A **unidade II**, de cor 7.5YR 3/4 (bruna-escura), está localizada a 0,50 m de profundidade. Apresenta muitas fendas de contração relacionadas a períodos de estiagem. As fendas, que possuem até 1 cm de largura, se distribuem sub - verticalmente no perfil. O limite com a unidade sobrejacente é marcado por fenda. A **unidade III**, situada a 0,30 m da superfície, possui cor 10YR 3/3 (bruna-escura). É cortada por fendas sub-verticais de 1 a 3 mm de largura. O material é mais poroso e friável em relação às outras unidades. A **unidade IV**, a 0,20 m de profundidade, apresenta fendas de contração com característica colunar. As larguras das fendas variam de 1 a 2 cm. A unidade apresenta raízes e carvão exposto sub-horizontalmente à superfície. O contato com a unidade III é difuso. Na unidade IV a cor é 10YR 3/6 (amarelado-bruna-escura). A **unidade V**, próxima a superfície, tem cor 10YR 3/6 (amarelado-bruna-escura). É composta por material granular, sugerindo depósito aluvial. A unidade é coberta por gramíneas. Nessa unidade não foram encontradas fendas de contração e nem fraturas subverticais, o que a difere das outras unidades subjacentes.

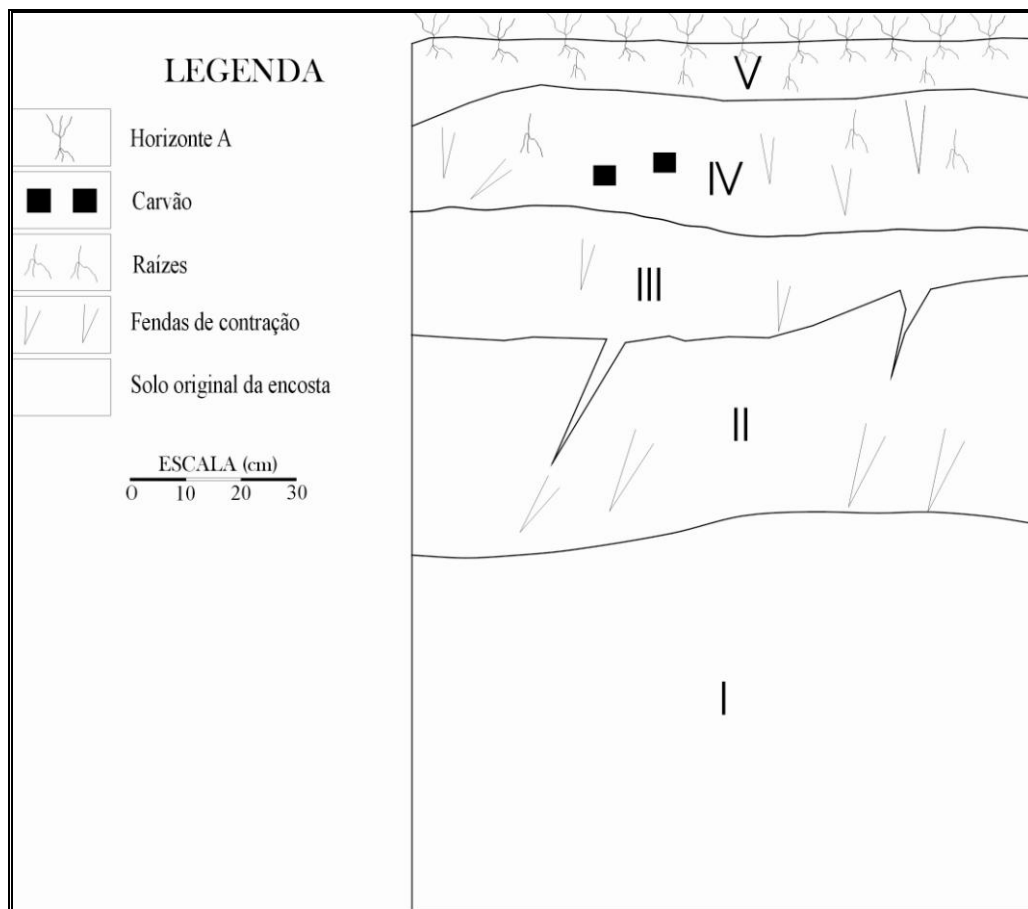


Figura 15. Desenho representativo de perfil analisado da Trincheira 2, localizada a 1,0 m da margem direita da incisão da última seção de erosão, a Seção 5.

4.2.2.1 Distribuição granulométrica na Trincheira 2

Assim como no perfil analisado da Trincheira 1, no da Trincheira 2 também foram coletadas 03 amostras por unidade, que posteriormente foram destinadas à análise granulométrica. Os locais das coletas das amostras deformadas e a distribuição granulométrica de cada unidade no perfil analisado da Trincheira 2 estão na Figura 16.

A distribuição granulométrica no perfil ocorre da seguinte maneira: a unidade I, localizada a 1,0 m de profundidade, assim como a unidade II, a 0,50 m da superfície, possuem textura argilo-siltosa. A unidade III, que está a 0,30 m de profundidade; a unidade IV, a 0,20 m da superfície e a unidade V, próxima a superfície, apresentam textura siltico-argilosa.

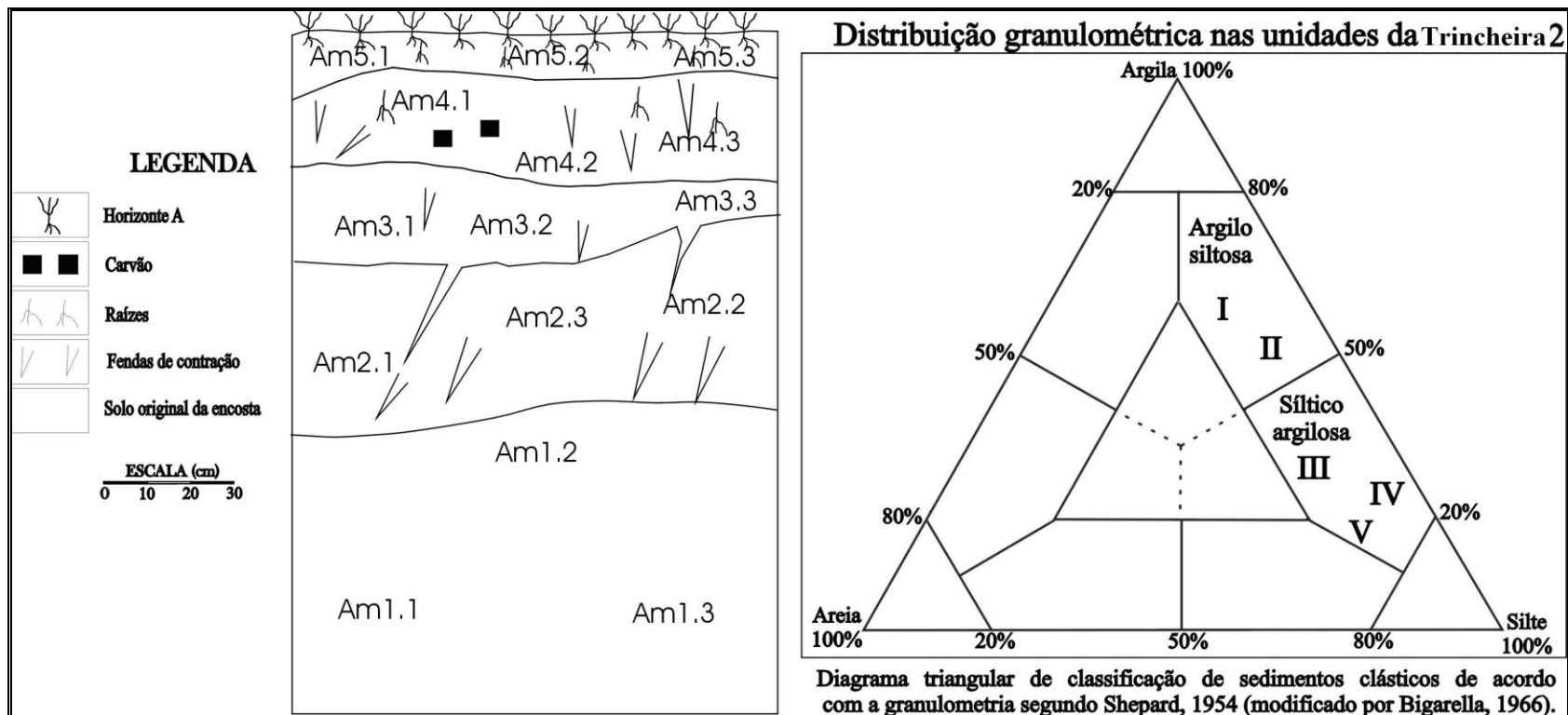


Figura 16. Distribuição granulométrica nas unidades do perfil analisado da Trincheira 2.

4.2.3 Caracterização do perfil analisado da Trincheira 3 (T3)

A trincheira foi aberta em afloramento de depósito cortado por voçoroca no setor da baixa encosta, mais especificamente na última seção de erosão, denominada de seção 05 (Figura 9). O perfil analisado possui 2,05 m de largura e 1,0 m de profundidade. Na descrição de detalhe do perfil foi possível distinguir 5 unidades aloestratigráficas com sutis distinções (Figura 17). No sentido das unidades subjacentes para as unidades sobrejacentes, as unidades foram numeradas de I a V.

Na **unidade I**, a 0,90 m de profundidade, o material é constituído pelo solo oriundo da encosta, o qual apresenta estrutura prismática, umidade e plasticidade baixa, não mosqueada e com poucas raízes. A cor que predomina na unidade é 5Y/R 4/6 (vermelha-amarelada). Nessa unidade não foi identificada nenhuma estrutura. Já na **unidade II**, localizada a 0,60 m da superfície, foi possível verificar estrutura sob a forma de lente constituída por grânulos de argila (pedorrelíquea) e areia; o material é altamente poroso com plasticidade baixa, não mosqueado. A cor identificada é 7.5Y/R 3/3 (bruna-escura). A **unidade III**, situada a 0,45 m de profundidade, apresenta concentrações lenticulares de grânulos. Nessa unidade a plasticidade, assim como a umidade, é baixa. A cor é 7.5Y/R 3/4 (bruna-escura). Na **unidade IV**, a 0,12 m da superfície, foi possível identificar a presença de lâmina de grânulos (pedorrelíqueas) com empilhamento intergranular. Também foram identificadas lâminas de argila e concentrações de matéria orgânica sob a forma de carvão com aspecto fibroso, originados, aparentemente, da queima de raízes de plantas. A cor predominante na unidade é 7.5Y/R 3/3 (bruna-escura). A umidade e a plasticidade são baixas. Na **unidade V**, mais próxima à superfície, denominada de horizonte A, o material não apresenta mosqueamento e tem baixa plasticidade e umidade. A estrutura do material é prismática sem estratificação visível. O material nessa seção sofre uma intensa bioturbação. A cor caracterizada na unidade é 7.5Y/R 3/3 (bruna-escura).

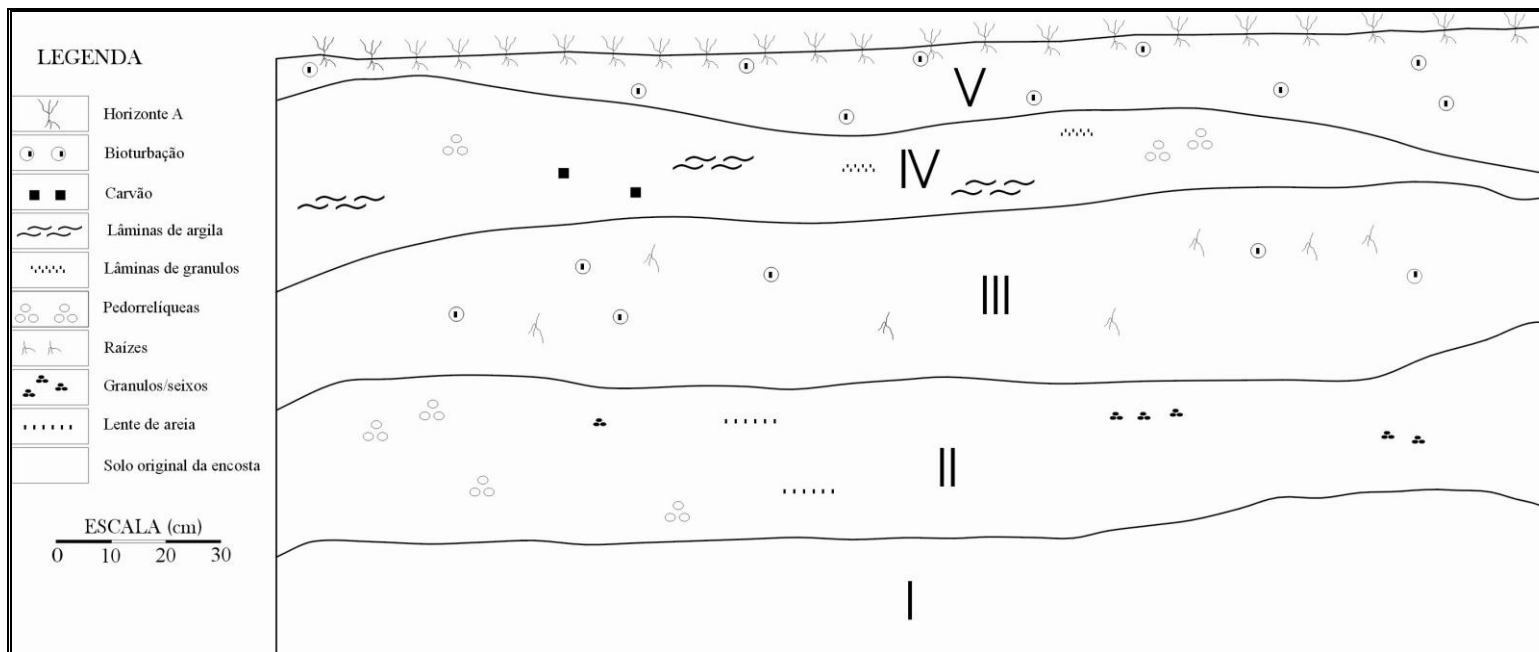


Figura 17. Desenho representativo de perfil analisado da Trincheira 3, localizada em afloramento de depósito cortado por voçoroca na Seção 05, situada no setor da baixa encosta.

4.2.3.1 Distribuição granulométrica na Trincheira 3

A localização das amostras deformadas e a distribuição granulométrica do perfil analisado da Trincheira 3 estão na Figura 18.

Por meio das análises granulométricas de 03 amostras por unidade, foi possível determinar que a textura que predomina na unidade I, a 0,90 m de profundidade, e na unidade II, a 0,60 m da superfície, é argilo-siltosa. A unidade III, com profundidade de 0,45 m, tem textura areno-siltosa. A unidade IV, a 0,12 m da superfície, apresenta textura argilo-siltosa e a unidade V, mais próxima à superfície, assim como a unidade III, possui textura areno-siltosa.

4.3 Considerações parciais acerca do reconhecimento de unidades sedimentares e pedológicas de vertente e de depósito de canal na encosta Guairacá

Após a realização das sondagens e das descrições de campo dos perfis analisados foi possível reconhecer pacotes de sedimentos que recobrem o solo original da encosta. Esses pacotes sedimentares originados por processos erosivos e deposicionais pretéritos, apresentam textura e espessuras distintas.

A variação da espessura dos pacotes sedimentares pode estar atrelada às características estruturais e morfológicas da encosta, que acabaram por condicionar os processos de deposição, nesse sentido, essas características estruturais e morfológicas acabaram também por condicionar o regime do fluxo atuante na encosta, influenciando na competência de transporte da carga e implicando na distribuição granulométrica variada dos sedimentos que constituem os pacotes sedimentares reconhecidos nos depósitos. As características texturais dos depósitos e a variação granulométrica sugerem mudanças na capacidade de transporte de carga do fluxo atuante nos processos erosivos e deposicionais na encosta, sugerindo períodos que alternaram entre fluxo mais denso com fluxo de baixa competência de transporte de carga.

Ainda sobre os depósitos, no perfil T2, foram encontradas fendas de contração. De acordo com Selley (1988), fendas de contração são formadas em argila por perda espontânea de umidade. Essas fendas sugerem que as unidades

onde elas se formaram já estiveram expostas na superfície, e que essas unidades passaram por períodos alternados de seca e umedecimento.

Por meio das sondagens foi possível verificar que, com exceção dos setores onde estão localizados os depósitos, não existe nenhum tipo de material que apresente textura, estruturas ou qualquer outro atributo que sugira material depositado, corroborando a hipótese de que a característica morfométrica da encosta condiciona os processos de erosão e deposição, fazendo com que o material erodido e transportado seja depositado em setores da encosta que apresentam uma ruptura de declive, ou seja, nos setores de depósito.

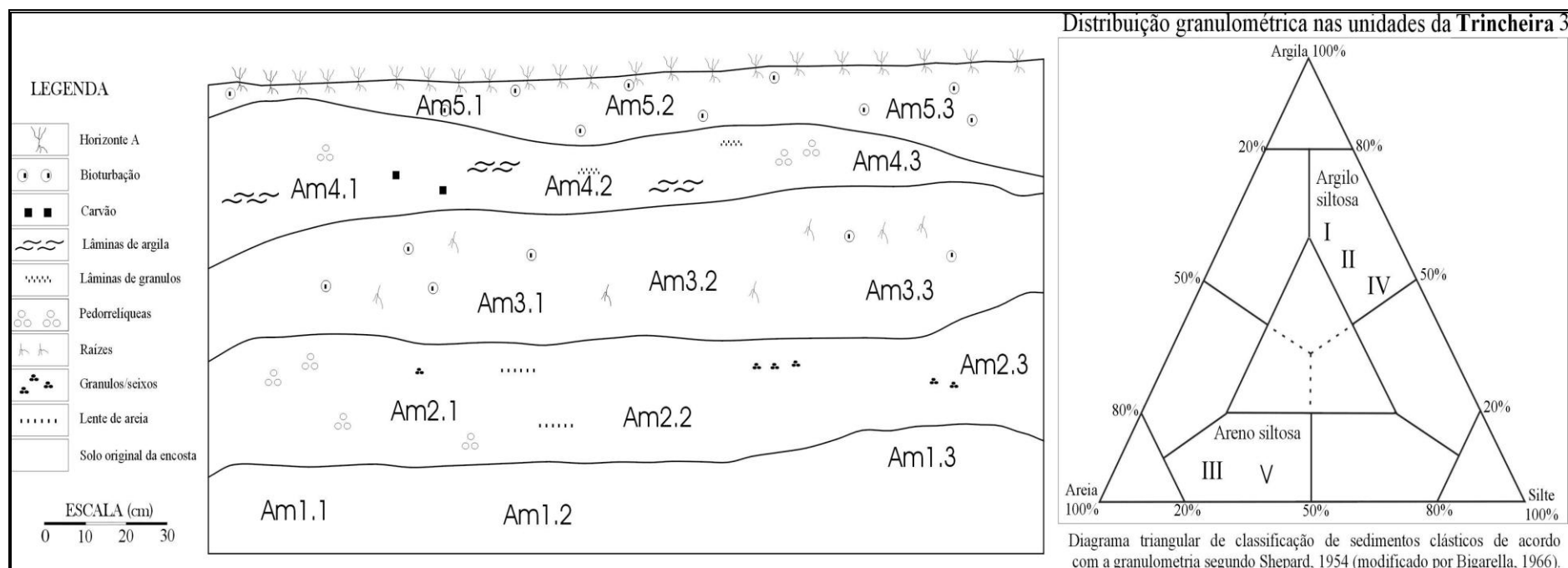


Figura 18. Distribuição granulométrica nas unidades do perfil analisado da Trincheira 3.

CAPÍTULO V

PROPRIEDADES MICROMORFOLÓGICAS DE UNIDADES SEDIMENTARES PEDOLÓGICAS DE VERTENTE E DE DEPÓSITO DE CANAL NA ENCOSTA GUAIRACÁ

Dentro da perspectiva de que os estudos micromorfológicos de solos e sedimentos são aplicáveis no reconhecimento e caracterização de microestruturas, e essas por sua vez, são úteis na caracterização dos processos de encosta, se utilizou da micromorfologia de solos e sedimentos para um reconhecimento e caracterização das propriedades microscópicas e micromorfológicas de solos e unidades pedossedimentares encontradas nos depósitos.

5.1 Propriedades micromorfológicas de solos e unidades pedossedimentares da Trincheira 1

Para a confecção das lâminas delgadas utilizadas nas descrições micromorfológicas do perfil analisado da Trincheira 1, foram coletadas duas amostras de cada unidade. A partir das amostras impregnadas, foram selecionados monolitos para a confecção de 02 lâminas delgadas. As amostras selecionadas para a confecção das lâminas foram as que melhor apresentaram características aplicáveis na elucidação dos processos geomorfológicos que atuaram na encosta. As lâminas foram denominadas de T1.1 e T1.2, respectivamente das unidades 2 e 6. A ordem de descrição das amostras é da base para o topo do perfil.

5.1.1 Descrição micromorfológica da lâmina T1.1

A lâmina T1.1 foi confeccionada a partir de amostra coletada a 0,95 m da superfície, retirada da unidade 2 (Figura 19). Nessa lâmina o material possui aspecto grumoso, reproduzindo as descrições de campo que o demonstram como depósito constituído por material friável, muito poroso, sugerindo a presença de depósito aluvial. Sob o microscópio o material apresenta distribuição relativa porfírica aberta. O esqueleto é constituído por fragmentos de quartzo na fração areia muito fina (90%). O material é moderadamente selecionado, não possui estratificação nem graduação. O contato entre os grãos é flutuante.

Individualmente, os grãos do esqueleto são predominantemente arredondados e subarredondados, em virtude de processos de alteração, e raramente angulares. O plasma é isótico (Figura 20) devido à presença de ferro. Os poros são meso e microporos, intergranulares complexos (Figura 20), ortoporos planares e oblíquos. Não foram identificados cutâns nesta lâmina, nem indício de bioturbação.

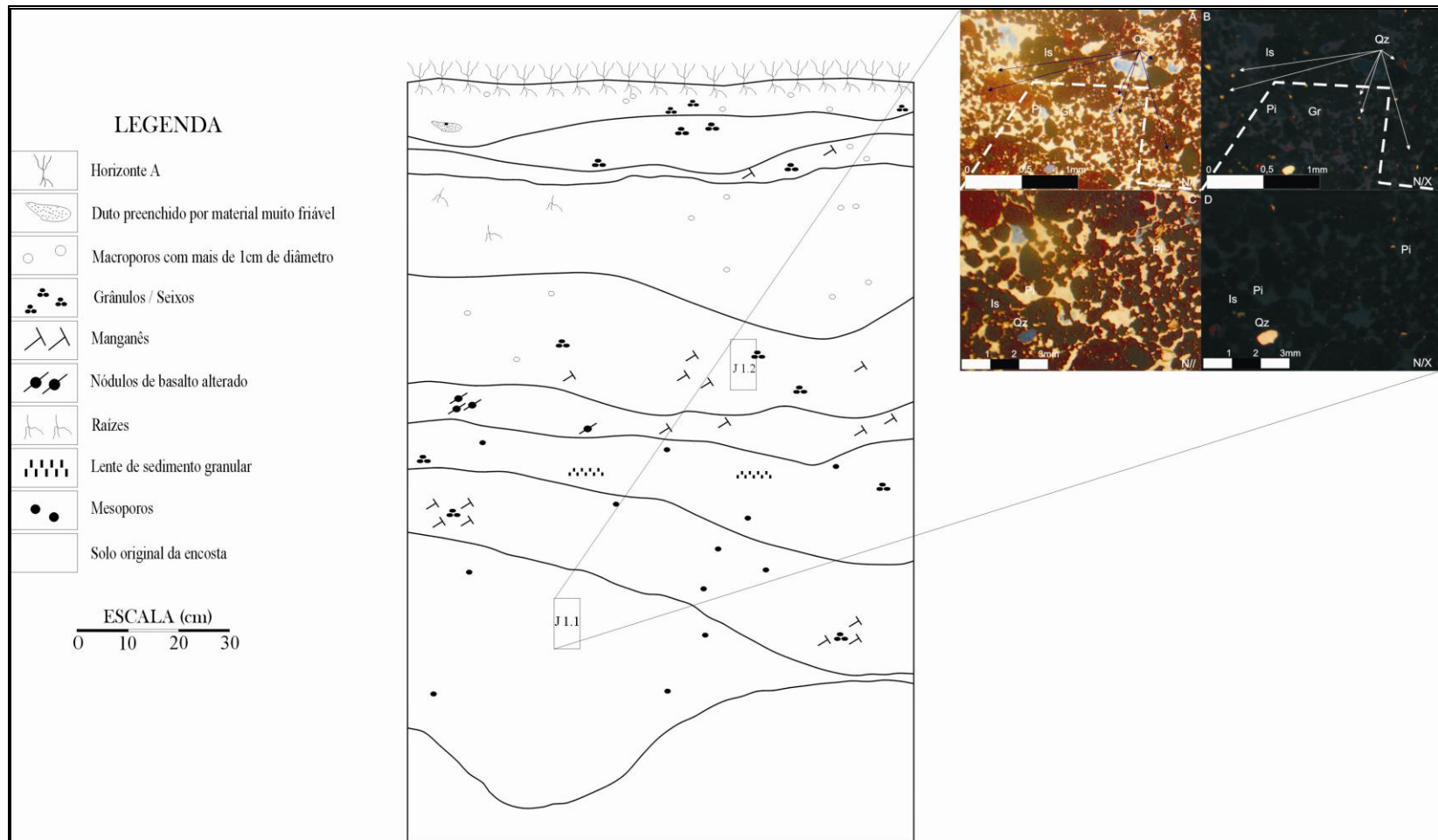


Figura 19. Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T1.1.

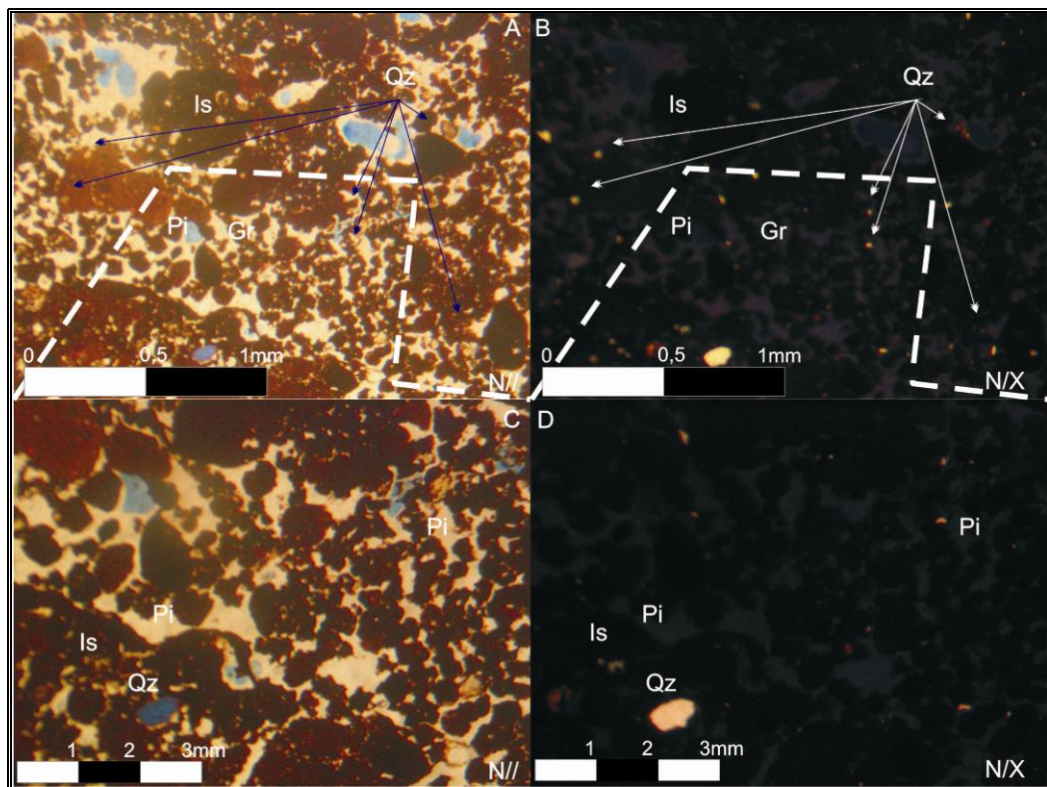


Figura 20. Fotomicrografia da lâmina T1.1. Figura “C” e “D” são ampliações da figura “A” e “B” (pontilhado indica o local da ampliação). Em “A” com nicóis paralelos (N//), grãos do esqueleto em Quartzo (Qz), Plasma isótico (Is).

Fotomicrografia: Camargo Filho, 2008.

5.1.2 Descrição micromorfológica da lâmina T1.2

A amostra utilizada para confeccionar a lâmina T1.2 foi retirada da unidade 6, a 0,40 m da superfície (Figura 21). A lâmina é constituída por material com aspecto predominantemente grumoso entremeado por unidades que sugerem ser pedorrelíquias. O material que constitui essa lâmina é isótico devido à presença de ferro. A distribuição relativa é porfírica aberta.

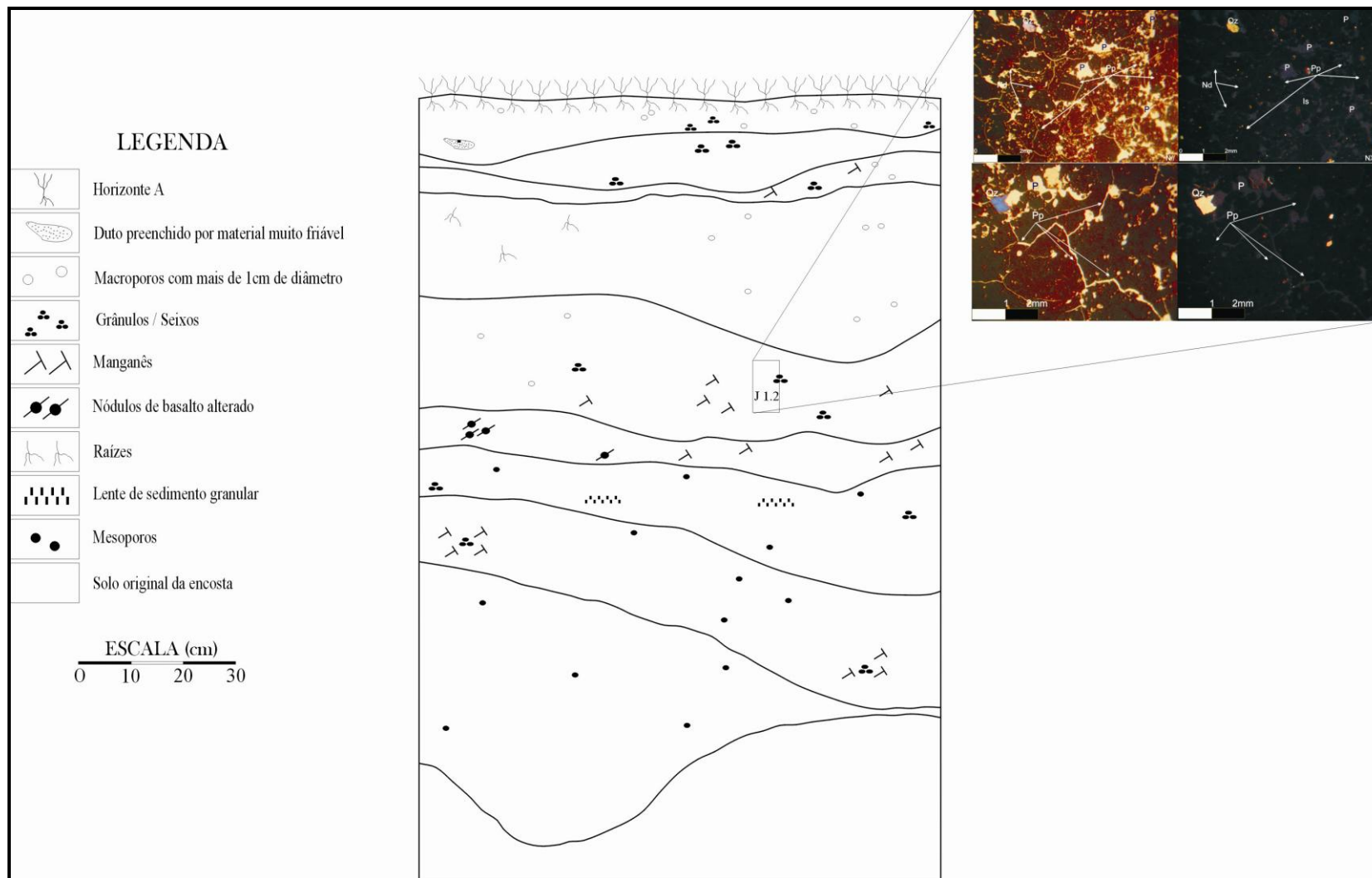


Figura 21. Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T1.2.

O esqueleto é constituído por quartzo na fração areia fina e muito fina, sendo esse material moderadamente selecionado, não possui estratificação nem gradação. Os grãos do esqueleto são arredondados e subarredondados. O material possui rugosidade do tipo alisada, podendo ocorrer de forma ondulada e raramente é rugosa. O contato entre os grãos do esqueleto é flutuante. Os poros podem ocorrer tanto em câmara, alvéolos ou como poros planares oblíquos (Figura 22). Nessa lâmina foram identificados nódulos (Figura 22) com forma elipsóide que apresentam limites nítidos, fracamente adesivos e com fábrica indiferenciada. São puros e constituídos, provavelmente, por óxidos e hidróxidos de ferro.

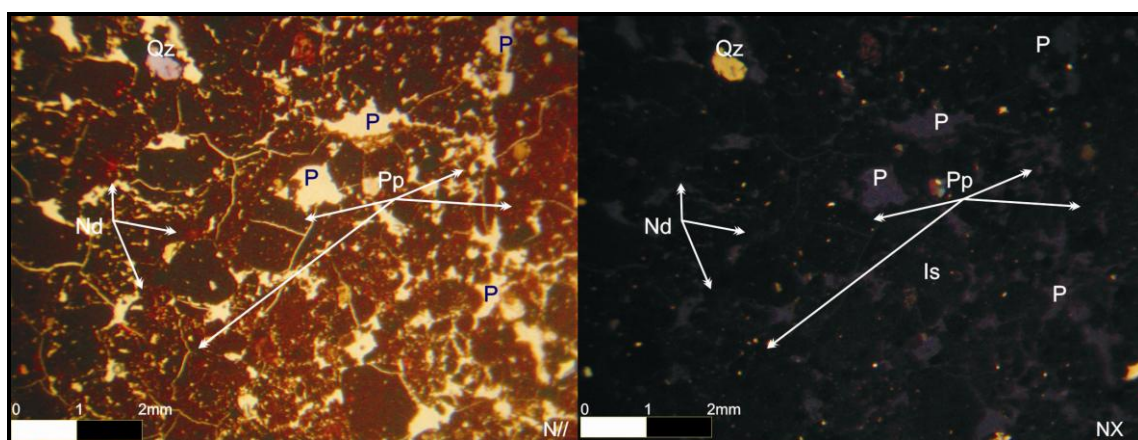


Figura 22. Fotomicrografia da Lâmina T1.2. Nódulos (Nd); Poros (P); Quartzo (Qz); Poros Planares Pp); Nicóis paralelos (N//); Nicóis cruzados (NX).

Fotomicrografia: Camargo Filho, 2008.

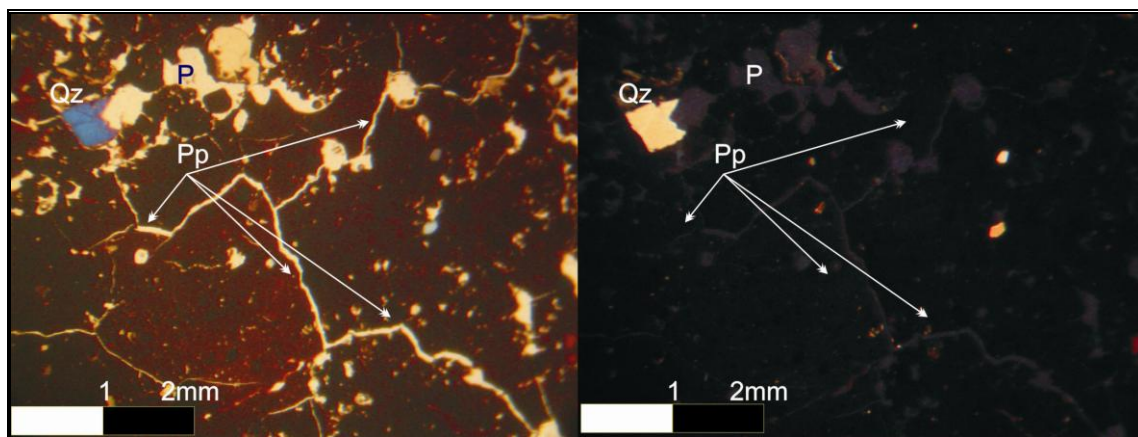


Figura 23. Fotomicrografia da lâmina T1.2. Poros (p); Poros planares (Pp); Quartzo (Qz)/ Nicóis paralelos (N//); Nicóis cruzados (NX).

Fotomicrografia: Camargo Filho, 2008.

5.2 Propriedades micromorfológicas de solos e unidades pedossedimentares da Trincheira 2

O perfil analisado da Trincheira 2 forneceu 02 amostras por unidade para impregnação. A partir das amostras impregnadas, foi selecionado 01 monolito destinado à confecção de lâmina delgada, para posterior trabalho de micromorfologia. Optou-se pela confecção de uma lâmina delgada desse perfil em virtude de que foi reconhecido um pacote sedimentar com espessura de 0,30 m. A amostra utilizada para confecção da lâmina T2.1 foi coletada a 0,15 m de profundidade. Foi retirada da unidade IV, que apresenta características de depósito aluvial. O local de amostragem está na Figura 24.

5.2.1 Descrição micromorfológica da lâmina T2.1

O material, na lâmina, tem cor bruna-escura e textura argilo-arenosa. A lâmina foi dividida em dois domínios, denominados domínio dos pedotúbulos preenchidos e domínio dos poros planares.

a) Domínio dos pedotúbulos preenchidos: esta porção da lâmina possui pedalidade e a distribuição relativa é porfírica. O material é moderadamente selecionado, não apresenta estratificação nem gradação. Os grãos do esqueleto são formados essencialmente por quartzo subarredondados e subangulares lisos, encontrados nas frações areia fina e muito fina (Figura 25). A rugosidade predominante, dos grãos do esqueleto, é ondulada e raramente rugosa, podendo ser alongada e subsférica. O plasma deste domínio é isótico (Figura 25) devido à presença de ferro. Os poros são mesoporos e microporos, constituídos, predominantemente, por canais, não sendo raro estarem parcialmente preenchidos por fragmentos de material subarredondados (Figura 26). Os microporos são predominantemente ortoporos, com paredes não adensadas ou alisadas. A presença de cutâns (Figura 27) é rara e quando ocorrem são predominantemente de grãos, seguido de poros e raramente de agregados. São constituídos de ferriargilãs, fracamente adesivos com microlaminações e extinção estriada. Os pedotúbulos (Figura 26) dominam a metade superior da lâmina e são preenchidos parcialmente por material subarredondado. Esses materiais são isóticos e raramente possuem cristais de quartzo imersos na sua matriz.

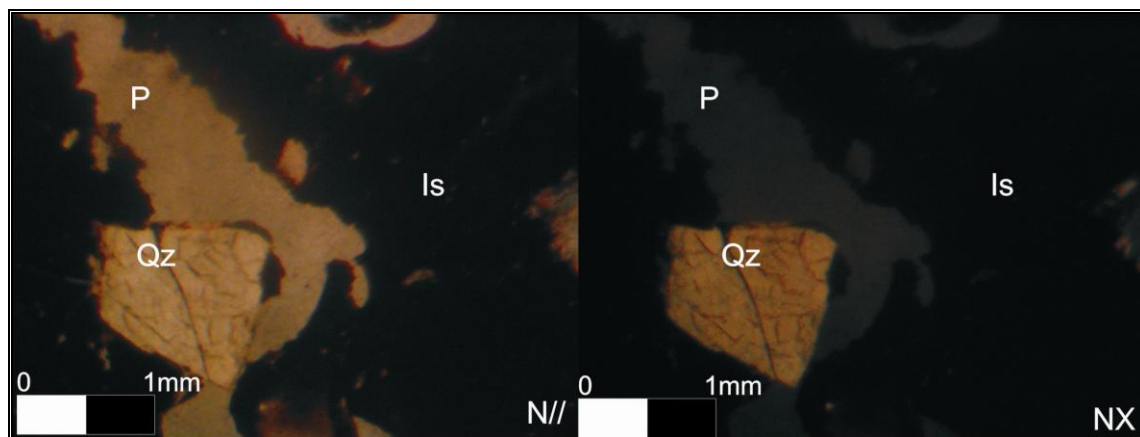


Figura 25. Fotomicrografia da lâmina T2.1 Microporo (P); Plasma Isótico por concentração de ferro (Is); Quartzo (Qz).

Fotomicrografia: Camargo Filho, 2008.

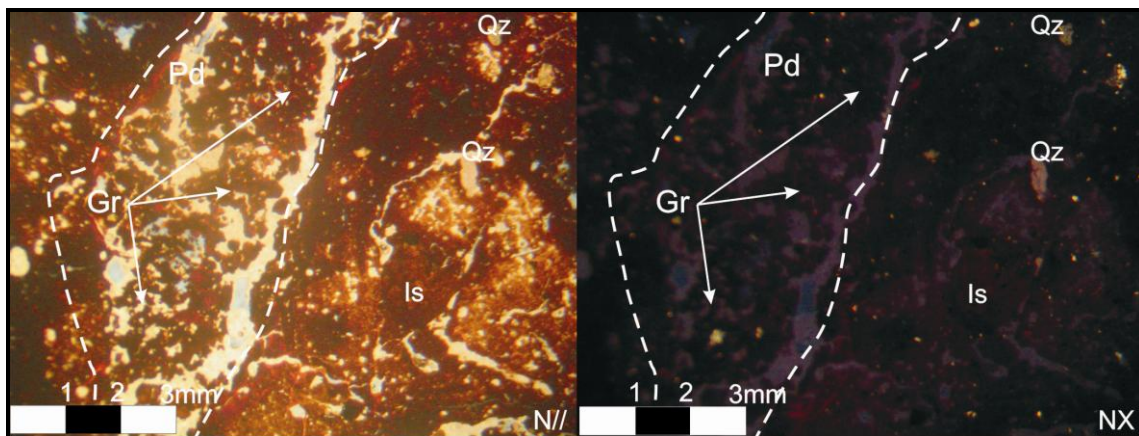


Figura 26. Fotomicrografia da lâmina T2.1. Plasma Isótico devido a presença de ferro (Is); Quartzo (Qz); Pedotúbulo formado pela área tracejada (Pd); Material subarredondado (Gr).

Fotomicrografia: Camargo Filho, 2008.

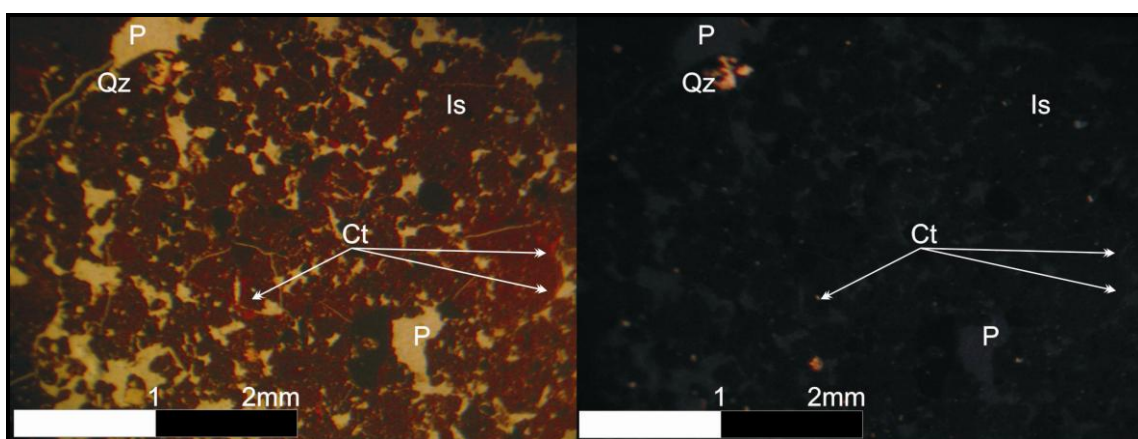


Figura 27. Fotomicrografia da lâmina T2.1. Cutans de grãos e de poros com microlaminações (Ct); Esqueleto de quartzo (Qz); Poros (P); Plasma Isótico devido ao teor de ferro (Is).

Fotomicrografia: Camargo Filho, 2008.

b) Domínio dos poros planares: como na porção superior da lâmina, este setor também possui pedalidade e a distribuição relativa é porfírica densa. O material é moderadamente selecionado, sem gradação, clastos polimodais em matriz suportada sem gradação. O contato entre os grãos do esqueleto é flutuante e o material é constituído por quartzos subarredondados e subangulares (Figura 28), com contornos lisos. Comumente o esqueleto encontra-se na fração areia fina e muito fina. O plasma é isótico devido à presença de ferro. Os poros são meso e microporos planares que raramente encontram-se preenchidos por material. Os microporos são predominantemente ortoporos, com paredes não adensadas ou

alisadas. A presença de cutãs (Figura 28) é rara e quando ocorrem são predominantemente de grãos, seguido de poros e raramente de agregados. São constituídos de ferriargilãs, fracamente adesivos com microlaminações e extinção estriada (Figura 28).

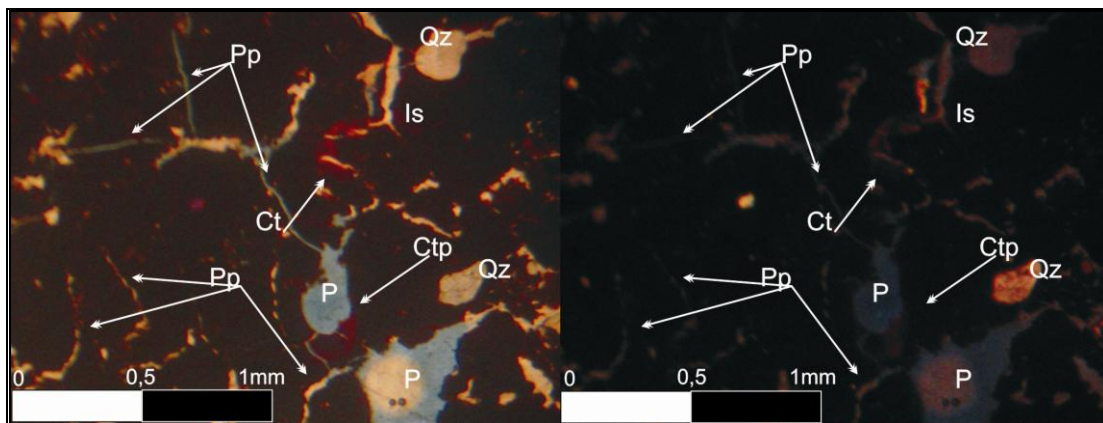


Figura 28. Fotomicrografia da lâmina T2.1. Poros (P); Poros planares (Pp); Esqueleto de Quartzo (Qz); Cutãs de poros com microlaminações (Ctp); Plasma Isótico (Is).

Fotomicrografia: Camargo Filho, 2008.

5.3 Propriedades micromorfológicas de solos e unidades pedossedimentares da Trincheira 3

A partir de duas amostras por unidade fornecidas pelo perfil analisado da Trincheira 3, foram confeccionadas 03 lâminas delgadas, denominadas de T3.1, T3.2 e T3.3, obtidas das unidades II, III e IV.

5.3.1 Descrição micromorfológica da lâmina T3.1

Seção delgada elaborada com material extraído a 0,80 m de profundidade (Figura 29). O material, na lâmina, tem cor bruna-avermelhada e a distribuição relativa (c/f) é mônica. O contato entre os grãos é flutuante e ocasionalmente pontual longitudinal e côncavo-convexo. A distribuição de base é aleatória. O esqueleto é formado por pedorrelíquias subarredondadas e elípticas (95%) e raros fragmentos de quartzo (5%), conforme descrição a seguir:

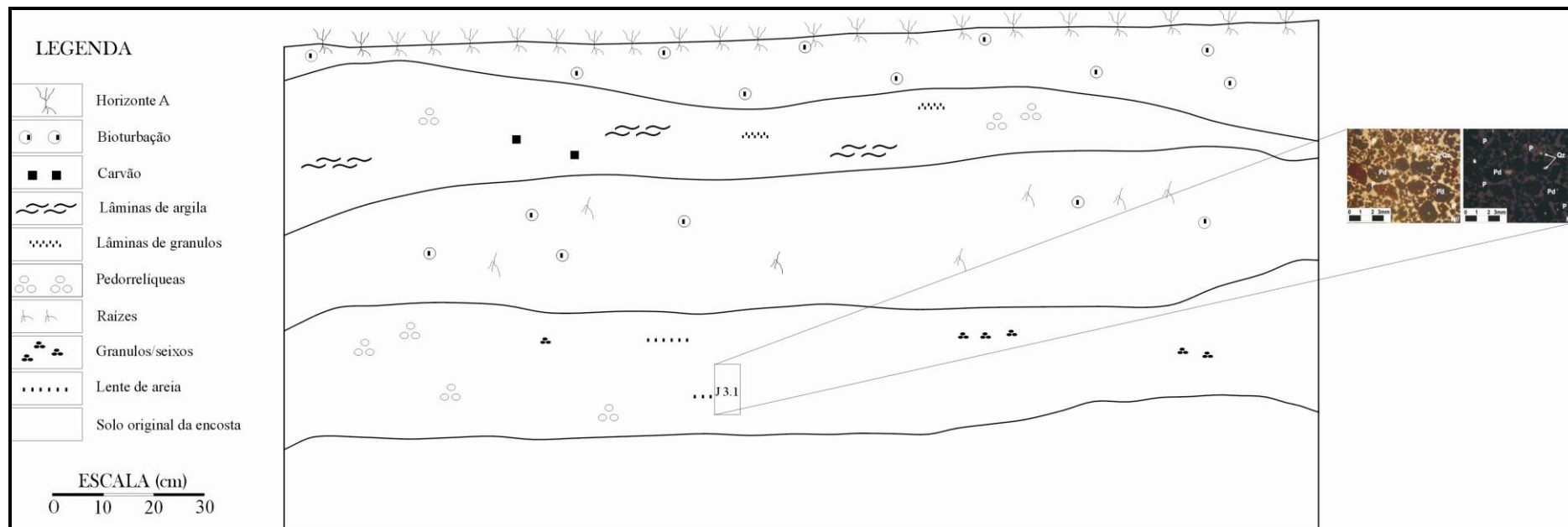


Figura 29. Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T3.1, apresentada na figura 30.

Pedorrelíquias: freqüentemente são subarredondadas e subelípticas, não raro apresentam deformações por compressão pós-deposicional (Figura 30). São constituídas basicamente por argila, oxiidróxido de ferro e húmus, formando um amalgama isótico. O esqueleto, quando observado, é formado por fragmentos angulosos de quartzo na fração areia muito fina. O plasma é isótico devido à presença de ferro e/ou húmus. Quartzos são encontrados na fração areia fina e muito fina, angulosos e subangulosos. Os poros são mesoporos e microporos (Figura 30).

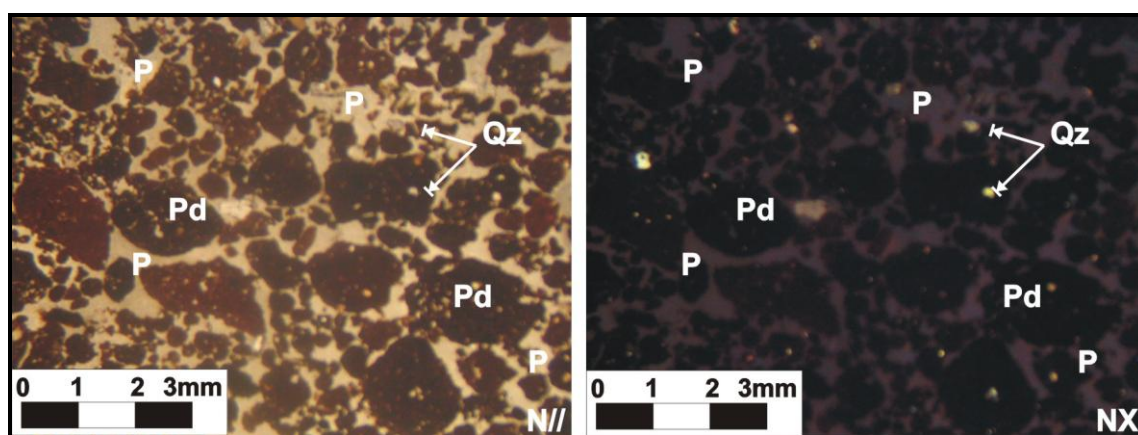


Figura 30. Fotomicrografia da lâmina T3.1 extraída a 0,80 m de profundidade. Em P, meso e microporos de empilhamento; em Pd, pedorrelíquias arredondadas e subarredondadas; em Qz, fragmentos de quartzo na fração areia muito fina. Nicóis paralelos (N//); Nicóis cruzados (NX).

Fotomicrografia: Camargo Filho, 2008.

5.3.2 Descrição micromorfológica da lâmina T3.2

Seção delgada elaborada com material extraído a 0,50 m de profundidade (Figura 31). O material, na lâmina, tem cor bruna-avermelhada e a distribuição relativa (c/f) é mônica. O contato entre os grãos é flutuante e ocasionalmente pontual longitudinal. A distribuição de base é aleatória. O esqueleto é formado por pedorrelíquias subarredondadas e elípticas (95%) e raros fragmentos de quartzo (5%), conforme descrição a seguir:

Pedorrelíquias: freqüentemente são subarredondadas e subelípticas, não raro apresentam deformações por compressão pós-deposicional (Figura 32). São constituídas basicamente por argila, oxiidróxido de ferro e húmus, formando um amalgama isótico. O esqueleto, quando observado, é formado por fragmentos angulosos de quartzo na fração areia muito fina. O plasma é isótico devido à presença de ferro e/ou húmus.

Quartzo: são encontrados na fração areia fina e muito fina, angulosos e subangulosos. Nódulos: arredondados, de cor avermelhada com composição química indefinida oticamente. Trata-se, possivelmente, de resina vegetal.

O plasma, quando identificado, é isótico devido à presença de húmus e/ou ferro. Os poros são meso e microporos. A presença de pedofeições está restrita a nódulos arredondados, vermelhos de composição química não identificada, provavelmente resina vegetal (Figura 32).

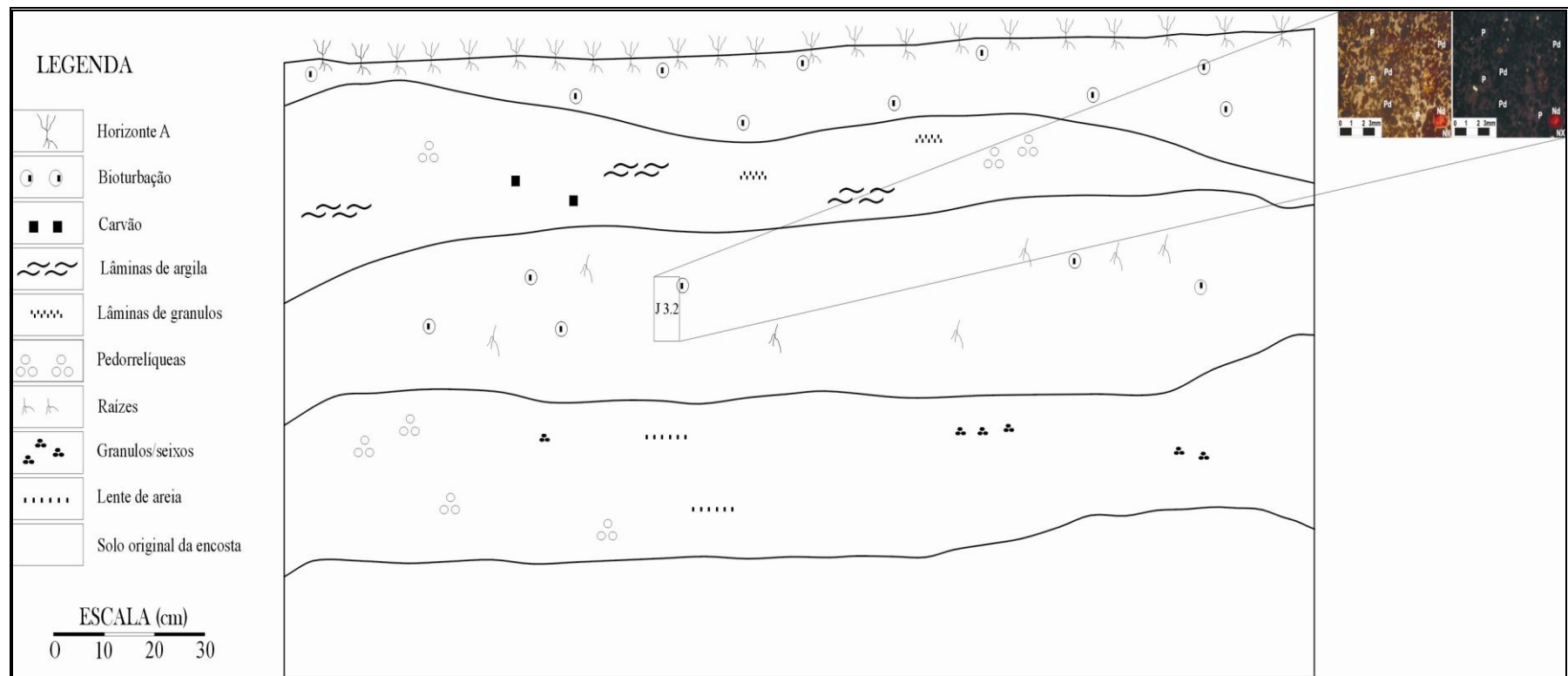


Figura 31. Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T3.2, apresentada na figura 32.

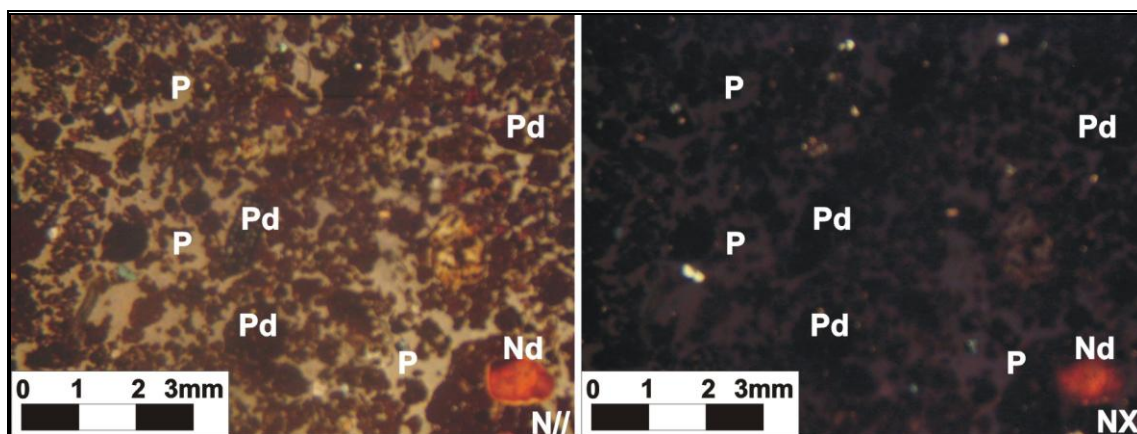


Figura 32. Fotomicrografia da lâmina T3.2 com material de depósito. Em P, poros intergranulares de empilhamento; em Pd, pedorrelíqueas subarredondadas com superfície enrugada; em Nd, nódulo arredondado de composição mineral não identificada opticamente. Nicóis paralelos (N//); Nicóis cruzados (NX).

Fotomicrografia: Camargo Filho, 2008.

5.3.3 Descrição micromorfológica da lâmina T3.3

Seção delgada elaborada com material extraído a 0,20 m de profundidade (Figura 33). Como nas demais lâminas, o material tem cor bruna-avermelhada e a distribuição relativa (c/f) é mônica, clasto suportado, polimodal. O contato entre os grãos é flutuante e ocasionalmente pontual, longitudinal e côncavo-convexo. A distribuição de base é aleatória. O esqueleto é formado por pedorrelíqueas subarredondadas e elípticas (95%) e raros fragmentos de quartzo (5%), conforme descrição a seguir:

Pedorrelíqueas: freqüentemente são subarredondadas e subelípticas, não raro apresentam deformações por compressão pós-deposicional (Figura 34). São constituídas basicamente por argila, oxiidróxido de ferro e húmus, formando um amalgama isótico. O esqueleto, quando observado, é formado por fragmentos angulosos de quartzo na fração areia muito fina. O plasma é isótico devido à presença de ferro e/ou húmus.

Quartzo: são encontrados na fração areia fina e muito fina, angulosos e subangulosos. **Nódulos:** arredondados, de cor avermelhada com composição química indefinida oticamente. Trata-se, possivelmente, de resina vegetal.

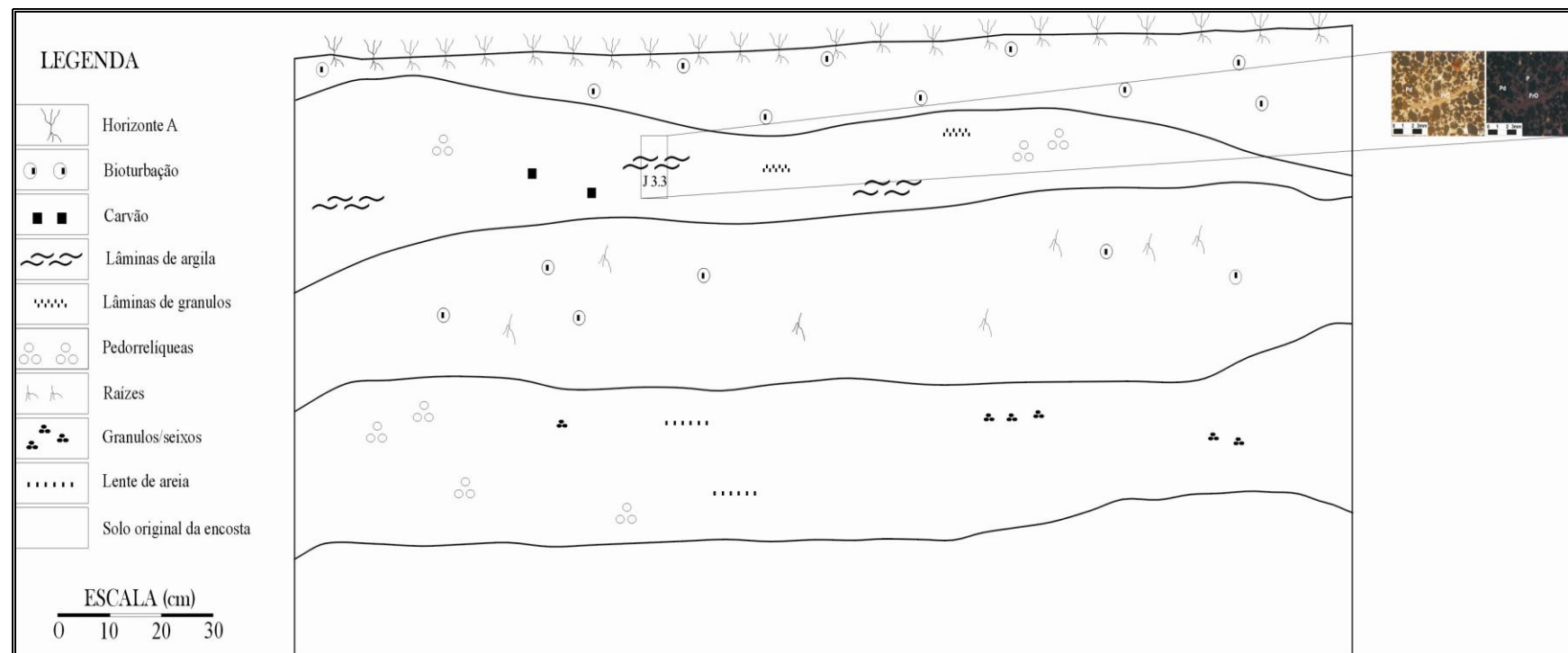


Figura 33. Localização da amostra utilizada para confeccionar a lâmina T3.3, apresentada na figura 34.

A Figura 34 mostra a presença de fragmento de raiz de vegetal atual (FrO).

O plasma é inexistente assim como pedofeições. Os poros são mesoporos e microporos de empilhamento sindeposicional (Figura 34).

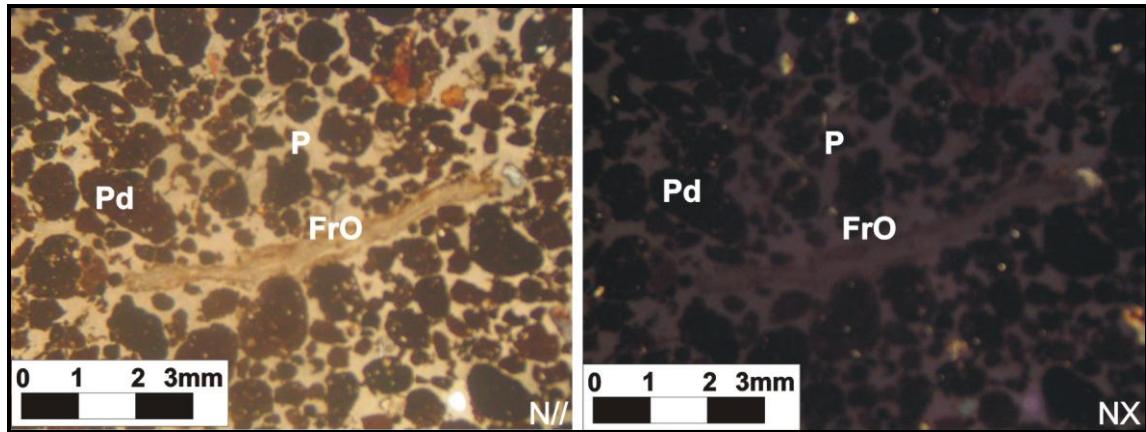


Figura 34. Fotomicrografia da lâmina T3.3 extraída a 0,20 m de profundidade. Em P, meso e microporos de empilhamento; em Pd, pedorrelíquias arredondadas e subarredondadas; em FrO, fragmento de raiz atual. Nicóis paralelo (N//); Nicóis cruzados (NX).

Fotomicrografia: Camargo Filho, 2008.

5.4 Considerações parciais acerca das propriedades micromorfológicas de solos e unidades pedossedimentares na encosta Guairacá

As lâminas delgadas, em cada trincheira, mostram diferenças muito sutis entre as unidades deposicionais analisadas em detalhe, com o predomínio de feições que sugerem a ocorrência de fluxos efêmeros rápidos, erodindo e depositando fragmentos do solo da encosta, sobretudo na **Trincheira 3**. A suposição de ocorrência de nódulos de resina nas unidades dessa trincheira, juntamente com fragmento vegetal, indicam claramente a erosão do solo ao nível das raízes, com o apoio ainda do predomínio de pedorrelíquias, que influenciam a variação de distribuição relativa, em relação às trincheiras anteriores. Na **Trincheira 1**, também praticamente não há evidência de diferenças entre as características das camadas das quais as duas lâminas são amostras. O material gerado não possui organização preferencial, o que não é característico de fluxos aquosos. Sendo mais comum em fluxos densos, ou em pulsos de escoamento associados à infiltração rápida. Ainda assim, a ausência clara de estruturas deposicionais, juntamente com as descrições micromorfológicas sugere, sobretudo, o predomínio de fluxos densos. Já na

Trincheira 2 há indícios de feições associadas a pedogênese, como preenchimento e fissuras, além da presença de pedotúbulos e da presença de cutãs.

CAPÍTULO VI

PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO RIO DAS PEDRAS E ENCOSTA GUAIRACÁ E VOLUMES DE SOLO E SEDIMENTO ERODIDOS

6.1 Processos erosivos na bacia do Rio das Pedras

A erosão é definida por Jackson (1997) como processo ou grupo de processos pelos quais os materiais da superfície terrestre são destacados, dissolvidos ou desgastados e simultaneamente mobilizados de um local para outro por agentes naturais. Os mecanismos e processos de erosão estão relacionados à dinâmica de água em superfície e subsuperfície. É da conjugação desses mecanismos que são definidas as feições e formas erosivas. Os processos de erosão na Bacia do Rio das Pedras retratam o resultado mais expressivo da erosão sobre encosta: voçorocas e rede de ravinas.

Camargo *et al.* (2004), em trabalho sobre cadastramento dos processos e das formas erosivas na bacia, adotaram o critério dimensional para diferenciar ravina de voçoroca onde, de acordo com Guerra (2001), ravinas constituem incisões com largura e profundidade de até 50 cm ao passo que as voçorocas representam canais com largura e profundidade acima desses valores.

Nesse trabalho, Camargo *et al.* (2004) verificaram que, no âmbito da Bacia do Rio das Pedras, mais de trinta e cinco encostas apresentam processos de erosão em ravinas e voçorocas. Os autores fizeram o reconhecimento e caracterização de vários mecanismos, os quais, por meio de ação conjunta, contribuem no processo evolutivo das incisões.

Os resultados obtidos com os estudos sobre processos erosivos na bacia do Rio das Pedras foram utilizados como subsídio para a elaboração da tabela 7, que mostra os principais mecanismos causadores de erosão de acordo com sua intensidade de atuação.

Tabela 7. Principais mecanismos responsáveis pela evolução da erosão em voçorocas e ravinas na bacia do Rio das Pedras (intensidade: XXX – forte; XX – média; X – fraca; espaços em branco indicam que os mecanismos não existem ou são desprezíveis na incisão), de acordo com a frequência e predomínio de mecanismos no processo erosivo.

Incisão	<i>Splash</i> e selamento do solo	Escoamento superficial	Erosão em filetes subverticais	Fendas de dessecação	Erosão em cascata	Movimento de massa
1	X	XXX	XX	X		X
2	X	XXX	XX	X	X	X
3	X	XXX	XX	X		X
5	X	XXX	XX	X		
6.1	X	XXX	XX	X		X
6.2	X	XXX	X	X		X
6.3	X	XXX	X	X		X
6.4	X	XXX	X	X		X
6.5	XX	XXX	X	X		X
7	XX	XXX	X	X		X
8	XX	XXX	X			
12	XX	XXX	X	X		
13	XX	XXX	X	XX		
14	XXX	XXX	X			XX
15	XX	XXX	X			X

Elaborado por Camargo *et al.* (2004).

6.1.1 Os parâmetros morfométricos das encostas e as dimensões das voçorocas na bacia do Rio das Pedras

A extensão da voçoroca representa o comprimento da incisão medido em campo durante a execução do perfil de encosta. Trata-se de incisões com dimensões variadas, sendo que a menor é de 24 m enquanto que a maior tem 517 m de comprimento. O comprimento da encosta representa a distância entre o divisor de escoamento e o nível de base local, a extremidade inferior no fundo de vale ou canal. As encostas estudadas em geral são longas, com comprimento médio de 394,74 m. Geralmente, as encostas apresentam baixa declividade, com inclinação média de 16% (CAMARGO *et al.*, 2004).

Ao considerarem-se as declividades da encosta nos setores onde se desenvolveram os canais, os valores médios são 13%. Entende-se que a declividade

da encosta assume um papel importante na instalação e no desenvolvimento de incisões erosivas, uma vez que ela condiciona a velocidade da água de escoamento sobre a superfície e, por conseguinte, o volume de material a ser destacado e movimentado encosta abaixo. Porém, valores mais baixos de declividade permitirão possivelmente mais infiltração, e assim, pela ação da água, os processos em subsuperfície.

6.1.2 A ocupação do solo nas encostas com voçorocas na bacia do Rio das Pedras

O uso e a ocupação do solo nas áreas de ocorrência de erosão são representados predominantemente por pastagens plantadas, ou campo entremeado por arbustos. Em 80% dessas encostas os campos são utilizados para a criação de gado de corte. Esse tipo de ocupação, juntamente com as características do solo, favorece o desenvolvimento de incisões erosivas através da ação do pisoteio do gado, que cria trilhas transversais à inclinação da encosta que acabam por se tornar rotas preferenciais da água de escoamento superficial. A erosão gerando voçorocas foi interpretada por Camargo *et al.* (2004), como processo oriundo da ação antrópica local. As voçorocas cadastradas e estudadas apresentavam fluxos concentrados oriundos de estradas rurais, de trilhas ou caminhos de gado ou da ação desses dois fatores e do uso do solo pelos proprietários locais (CAMARGO *et al.*, 2004). O fluxo concentrado, oriundo das estradas e trilhas de gado, amplia rapidamente as cabeceiras das voçorocas em direção ao topo das encostas, ao mesmo tempo em que promove o aprofundamento das incisões e o alargamento das mesmas na média e baixa encosta.

6.1.3 A voçoroca descontínua da encosta Guairacá

A voçoroca instalada na encosta Guairacá, apresenta cinco seções de erosão intercaladas com terreno não erodido, com degraus e depósitos sedimentares em forma de cones de dejeção na extremidade inferior da voçoroca (Figura 22). A cabeceira da voçoroca torna-se extremamente ativa nos períodos de intensa precipitação. À medida que a energia da água se dissipa, em função da redução da

declividade da encosta, há o alargamento da voçoroca, até o momento em que o fluxo deixa de erodir e passa a depositar os sedimentos na extremidade inferior da mesma. Esses depósitos assumem a forma de cones de dejeção.

Digno de nota e não menos importante é a erosão das paredes laterais da voçoroca, onde predominam fendas de tração e dessecação, que concentram a água de escoamento oriunda da superfície lateral das paredes da voçoroca. Essas fendas promovem o desabamento de torrões de solo ao longo das mesmas. Esse processo, conforme relatado anteriormente forma um sistema de erosão descontínuo, segmentado em cinco seções numa mesma encosta, separadas por cones de dejeção e terreno ainda não erodido. Esse, por sua vez, acaba se tornando a cabeceira da voçoroca subsequente.

Os depósitos de cones de dejeção que ocupam algumas seções de descontinuidade da voçoroca apresentam, no setor da baixa encosta, uma área maior, tanto transversalmente quanto longitudinalmente.

6.2 Volumes de solo e sedimento erodidos da voçoroca

Como relatado no item 3.1.1.4, os volumes de solo e sedimento erodidos da voçoroca foram monitorados durante um ano. Para um melhor acompanhamento dos volumes erodidos e, em virtude de se tratar de sistema descontínuo, as cinco seções de erosão foram nomeadas de Seção 1, Seção 2, Seção 3, Seção 4 e Seção 5 (Figura 35). Os valores apresentados nesse capítulo dizem respeito ao trabalho de monitoramento de um ano hidrológico, compreendido entre 08/2006 a 08/2007. Os volumes e as porcentagens da perda de solo e sedimentos das incisões estão na tabela 8.

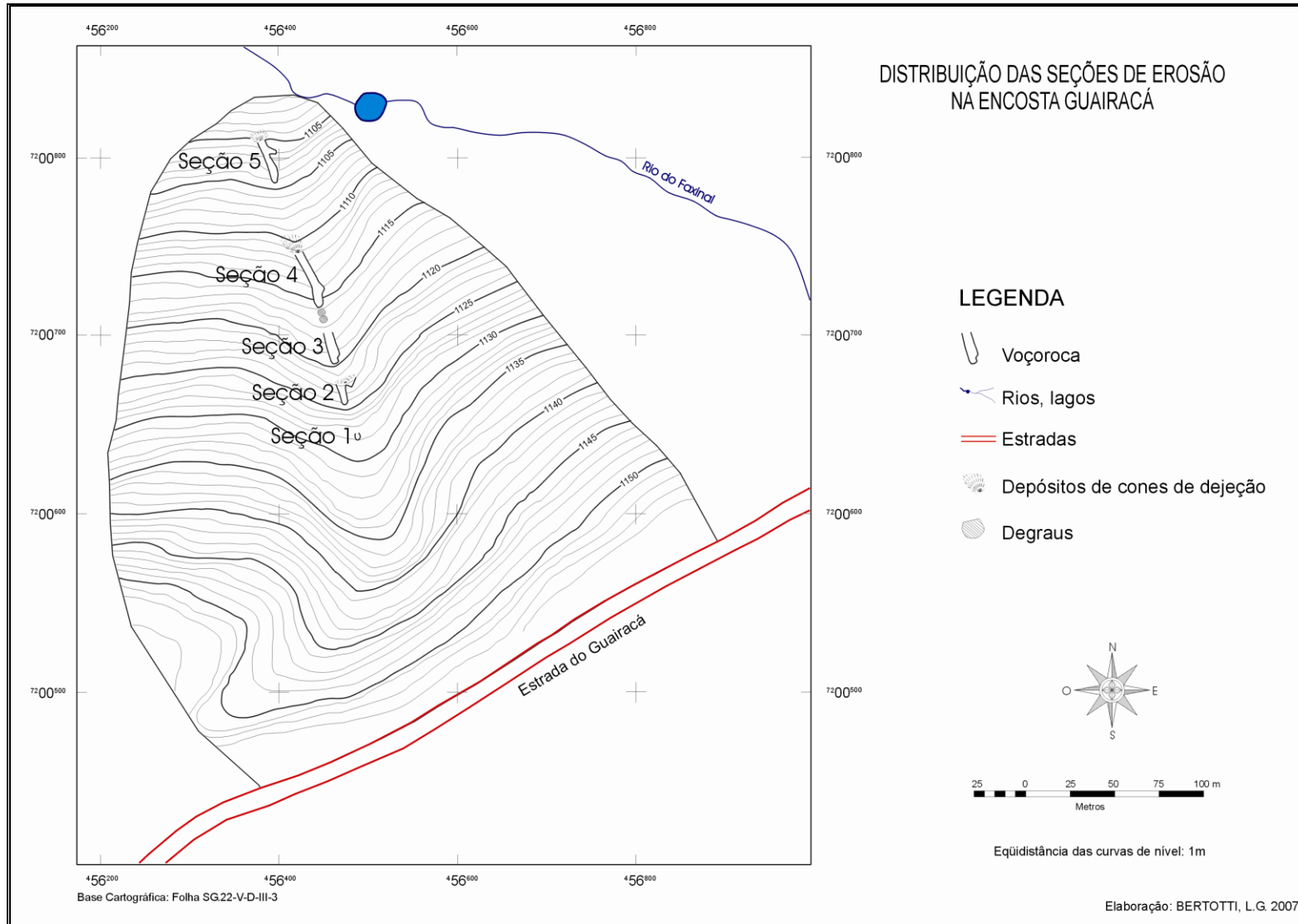


Figura 35. Distribuição das seções de erosão na encosta Guairacá.

Tabela 8. Volumes e porcentagens da perda de solo e sedimentos das incisões, mecanismos de erosão e feições associadas.

Seção	Perda de solo e sedimento (m³/ano)	Perda de solo e sedimento (%) em um ano	Principal mecanismo de erosão	Feição associada ao mecanismo de erosão	Figura que mostra a modificação em planta da seção
1	0,15	8,67	Escoamento superficial concentrado		40
2	1,17	5,57	Escoamento superficial concentrado		40
3	0,09	1,99	Escoamento superficial concentrado		40
4	11,92	15,46	Escoamento superficial concentrado/ movimentos de massa localizados	Quedas de agregados	41
5	1,60	6,49	Escoamento superficial concentrado/erosão por quedas d'água	Marmita	42

6.2.1 Dinâmica do processo erosivo na encosta Guairacá

Os processos de erosão não ocorrem com a mesma dinâmica em todas as seções de erosão na encosta Guairacá. Diferenciações nas características da cobertura vegetal, topográficas e hidrológicas nos setores da encosta, determinaram os volumes de solo e sedimentos erodidos e transportados de cada seção, bem como o surgimento de mecanismo de erosão e feições a eles associadas.

Na Seção 3, assim como nas Seções 1 e 2, o único mecanismo de erosão reconhecido foi o escoamento superficial oriundo das laterais e da cabeceira da incisão, apontado como o principal agente causador das perdas de solo e sedimentos. Os volumes de solo e sedimento erodidos nessas seções estão relacionados às características da cobertura vegetal nos setores onde essas incisões estão instaladas. Nessas áreas a vegetação é mais densa, contribuindo com o decréscimo da energia do fluxo em superfície e, conseqüentemente, diminuindo a competência de remoção e transporte de partículas de solo.

A Seção 4 apresentou os maiores volumes de solo e sedimentos carregados pelos agentes erosivos. O ponto que corresponde à estaca 31 foi o que apresentou os maiores volumes. A Figura 36 é ilustrativa da erosão na estaca 31. O *Pinus*, que no início dos trabalhos de monitoramento se encontrava a 50 cm da borda da incisão, junto à estaca (Foto 1), devido ao processo erosivo nesse setor da voçoroca, foi abatido para dentro da incisão (Foto 2). No processo de erosão nesse setor, a estaca utilizada para monitorar a erosão da borda foi abatida para dentro da incisão, sendo recolocada posteriormente. Os ângulos de onde as fotos foram registradas não são exatamente os mesmos, mas as fotos mostram perfeitamente o aumento das taxas de erosão da borda da voçoroca no setor da estaca 31. A Figura 38 mostra a variação da área correspondente à Seção 4.



Foto 1 - 08/2006.

Autor: Luis Ângelo Guerreiro Junior, 2006.



Foto 2 - 04/2007.

Figura 36. Abatimento de *Pinus* (1) em virtude do aumento das taxas de erosão das bordas da voçoroca na Seção 4.

Movimento de massa localizado, representado pela queda de agregados das paredes da incisão, foi identificado como o principal mecanismo causador do aumento dos volumes de solo e sedimento erodidos das bordas da voçoroca. Tal mecanismo resulta da ocorrência de fendas de dessecação e tração que provocam o deslocamento e a queda dos agregados (Figura 37). Rodrigues (1984) relaciona as fendas de dessecação e tração aos fenômenos de alívio de tensão nos taludes das voçorocas. Essas fendas, que chegam a apresentar 2 cm de largura, se tornam rotas preferenciais da água de escoamento superficial, resultando na redução dos parâmetros de resistência entre os agregados até a perda de grandes volumes de solo, que se movimentam através das fendas (CAMARGO *et al.* 2004).



Figura 37. Deslocamento de agregados por meio de fendas de dessecação e tração.

Foto: Silva, 2006.

Como já mencionado, os volumes de solo e sedimentos erodidos dentro do canal também foram verificados. Em foto registrada após chuva do dia 08 de maio de 2007, quando a precipitação pluviométrica chegou a 70,4 mm em aproximadamente 20 horas, foi possível verificar uma perda de 9 cm de sedimento, verticalmente, no setor da voçoroca que apresentou o maior volume para essa data (Figura 38). O fluxo superficial concentrado foi reconhecido como principal mecanismo causador dessa perda de sedimento.



Figura 38. Variação da taxa de erosão dentro da incisão após evento chuvoso de 08/05/2007.

Em relação às observações e monitoramentos feitos em campo na Seção 5, foi reconhecida, no eixo da voçoroca, feição associada a mecanismo de erosão, representada por processo de formação de marmita (Figura 39). Uma hipótese sobre a origem dessa feição está atrelada ao movimento turbilhonar da água. Nesse processo, as partículas transportadas pelo fluxo chocam-se com as bordas e o fundo da cavidade. Com o aumento da energia do fluxo e da sua turbulência dentro da concavidade, ocorre o atrito das partículas transportadas com a borda e o fundo estáticos da cavidade. Esse processo pode ter sido o responsável pelo desgaste das bordas e pelo aumento da profundidade da concavidade, originando a marmita.



Figura 39. Marmitta originada no eixo da voçoroca da Seção 5.

Foto: Mascarello, 2007.

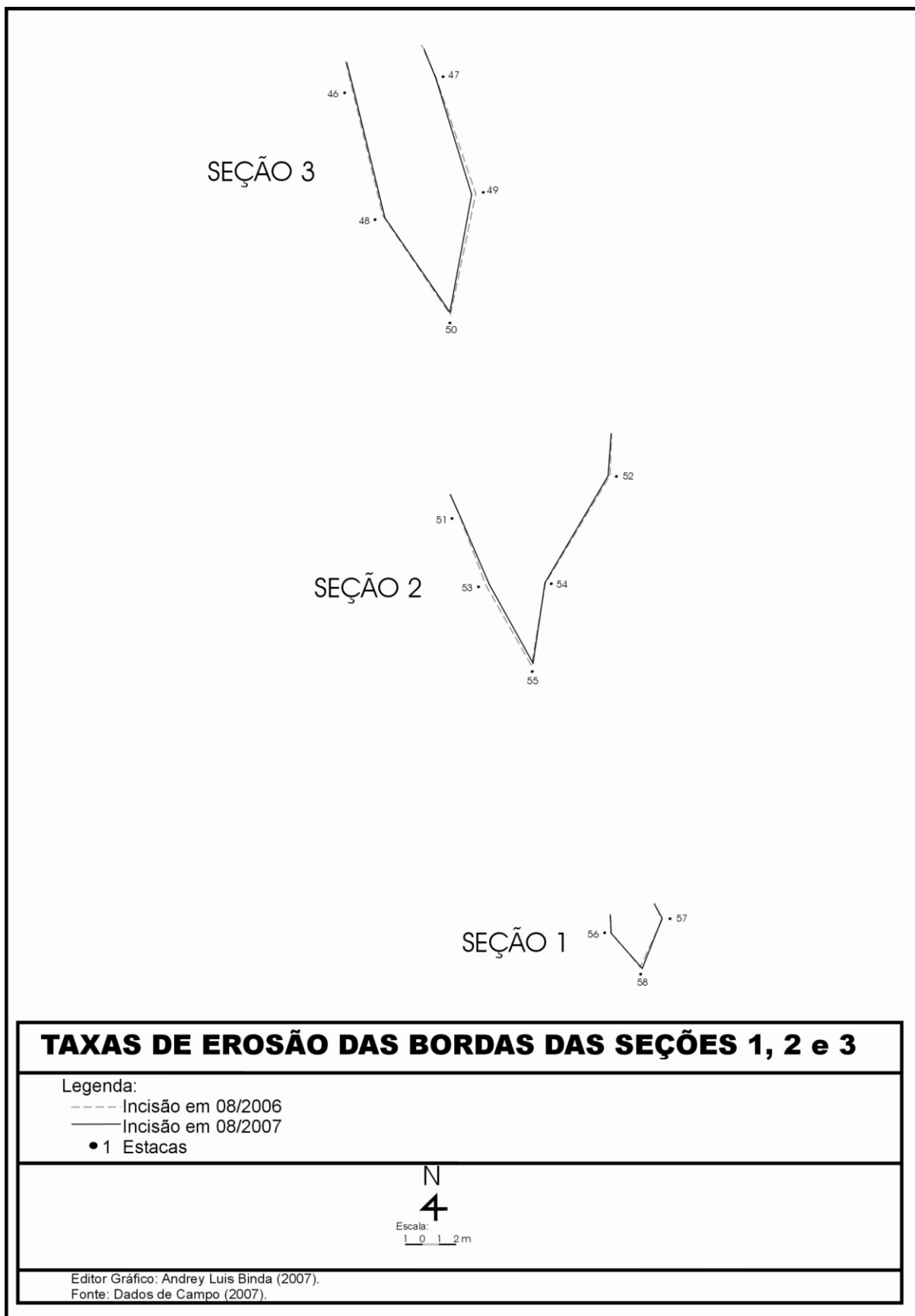


Figura 40. Croqui representativo da variação da área das Seções 1, 2 e 3.

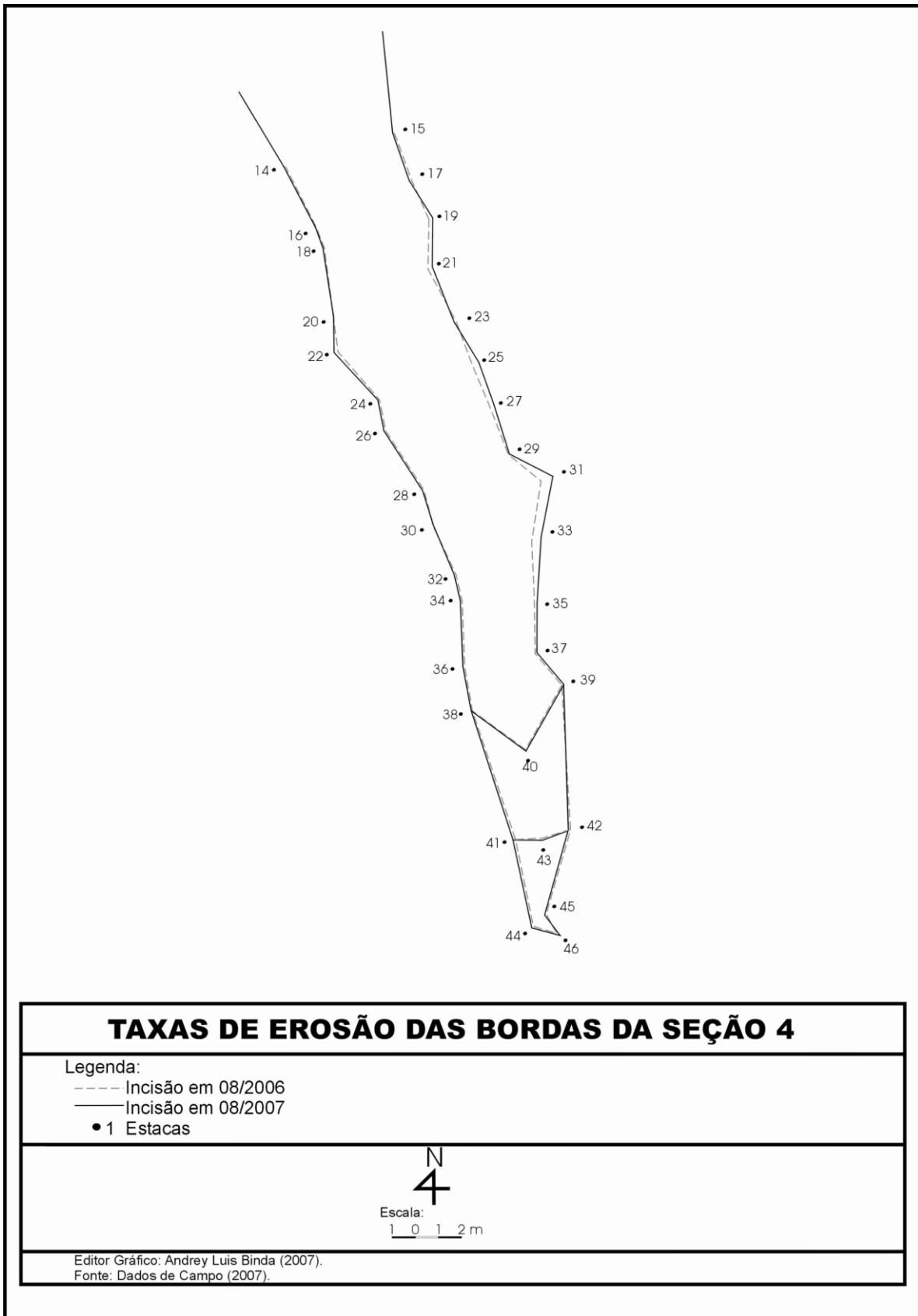
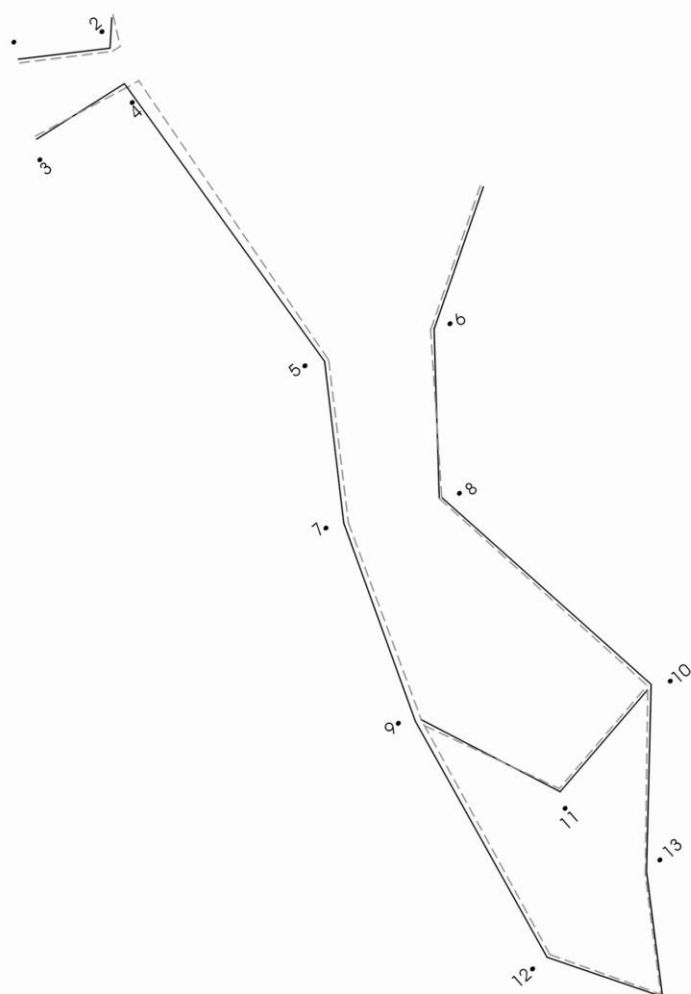


Figura 41. Croqui representativo da variação da área da Seção 4.



TAXAS DE EROSÃO DAS BORDAS DA SEÇÃO 5

Legenda:

----- Incisão em 08/2006

————— Incisão em 08/2007

• 1 Estacas

N
4

Escala:

1 0 1 2 m

Editor Gráfico: Andrey Luis Binda (2007).

Fonte: Dados de Campo (2007).

Figura 42. Croqui representativo da variação da área da Seção 5.

6.3 Considerações parciais acerca dos processos erosivos na bacia do Rio das Pedras e volumes de solo e sedimento erodidos da voçoroca

Os resultados do trabalho desenvolvido por Camargo *et al.* (2004), indicaram que a área que corresponde à Bacia do Rio das Pedras pode ser suscetível à instalação de voçorocas quando o usuário do solo não possui nenhuma preocupação com a preservação. Em toda a área estudada (330 km²), os processos de erosão encontrados, principalmente voçorocas, estão única e exclusivamente ligados ao mau uso do solo.

Em relação à voçoroca da encosta Guairacá, tem-se como hipótese de que sua instalação ocorreu em virtude do desmatamento ocasionado pela ocupação da área e que pela ação conjugada de alguns mecanismos de erosão e pelas características morfométricas da encosta (comprimento, forma e declividade), que têm ligação direta com as características do fluxo que atua nos processos de erosão e deposição, a incisão apresentou uma evolução.

Após os trabalhos de monitoramento dos volumes de solo e sedimento erodidos da voçoroca, compreendido entre 08/2006 e 08/2007, foi possível verificar uma evolução da incisão. As taxas de erosão nas bordas, embora baixas, apresentaram valores superiores em relação aos valores obtidos com o monitoramento das taxas de erosão dentro das incisões. A erosão das bordas da voçoroca é causada principalmente pelo deslocamento de agregados das paredes laterais da voçoroca. As baixas taxas de erosão dentro da incisão ocorrem em virtude de o fluxo que escoar no interior da voçoroca atuar principalmente no transporte de sedimentos oriundos das bordas, e conseqüentemente, não manter energia suficiente para o processo de remoção e transporte do material que constitui o piso da incisão.

CONCLUSÃO

O propósito de caracterizar depósitos sedimentares que ocorrem na encosta Guairacá teve origem a partir de estudos de reconhecimento e caracterização dos processos de erosão em ravinas e voçorocas atuantes na bacia do Rio das Pedras, no município de Guarapuava, Centro-Sul do Paraná, desenvolvido pelo Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro – Oeste, UNICENTRO, em parceria com a Prefeitura do Município de Guarapuava.

O trabalho aqui apresentado teve como objetivo analisar os depósitos de encosta associados a voçorocas com padrão descontínuo localizados na encosta Guairacá, com intuito de elucidar a dinâmica dos processos erosivos na mesma. O objetivo proposto para o trabalho foi determinado dentro da perspectiva de que a caracterização dos depósitos assume importante papel na compreensão dos processos erosivos reconhecidos na encosta.

O trabalho foi elaborado em etapas, iniciando-se pelo reconhecimento das feições erosivas e dos depósitos sedimentares que morfologicamente se apresentavam como cones de dejeção. Na seqüência efetuou-se a instalação de equipamento para acompanhamento dos volumes de solo e sedimento erodidos na incisão, com o objetivo de determinar a evolução da voçoroca e correlacionar com o fornecimento de material e processo de sedimentação. Em seguida, foram realizadas sondagens e descrição de detalhe dos materiais constituintes dos depósitos e, posteriormente, análises físicas e micromorfológicas desses materiais. Atrelado às etapas citadas, foi realizado também o levantamento bibliográfico, bem como, sua leitura crítica.

Por meio das descrições de campo, foi possível observar que os perfis analisados são formados por unidades com características texturais e morfológicas distintas. Os trabalhos de descrição macroscópica aliados às análises de laboratório demonstraram variações na textura do material que constitui essas unidades. Sendo assim, é correto afirmar que o fluxo atuante nos processos erosivos e deposicionais na encosta, apresentou características distintas durante o processo de erosão e deposição do material que constitui os depósitos, alternando entre fluxo mais denso e fluxo com baixa competência de

transporte de carga, o que refletiu na distribuição textural diferenciada do material que constitui as unidades dos depósitos.

No perfil estudado da T1, a granulometria revelou que as unidades I, II, III e IV, apresentam textura areno-siltosa, indicando um fluxo mais denso em relação às unidades sobrejacentes V e VI, que apresentam textura argilo-siltosa. Considerando a textura siltico-argilosa das unidades VII e VIII, fica evidente que o fluxo que atuou na deposição dessas unidades, apresentou característica mais densa, em virtude de que esse material é mais grosso em relação ao material que compõe as unidades subjacentes. Posteriormente, no processo de deposição da unidade IX, o fluxo voltou a perder energia de transporte de carga, depositando material argilo-siltoso e, na deposição da unidade X, o fluxo voltou a apresentar maior competência de transporte de carga, depositando material com textura areno-siltosa.

No perfil T2, o fluxo que atuou no processo de deposição das unidades I e II, com textura siltico-argilosa, apresentou competência de transporte de carga menor do que o fluxo atuante na deposição das unidades III, IV e V, que têm como textura material argilo-siltoso.

Em relação às unidades sedimentares encontradas no perfil T3, também foi possível verificar variações nas características do fluxo atuante no processo de deposição. As unidades I e II, de textura argilo-siltosa, foram depositadas por fluxo com capacidade de transporte de carga menor em relação ao fluxo que atuou na deposição da unidade III, que apresenta textura areno-siltosa. No processo de deposição da unidade IV, o fluxo voltou a perder energia, depositando material mais fino, com textura argilo-siltosa. No processo de deposição da unidade V, o fluxo foi mais denso, apresentando uma competência de transporte de carga maior em relação ao fluxo atuante no processo de deposição da unidade subjacente, depositando material com textura areno-siltosa.

A variação da textura nas unidades constituintes dos depósitos da encosta Guairacá torna evidente que, o fluxo atuante no processo de deposição dessas unidades, alternou entre fluxo mais denso e fluxo com baixa

competência de transporte de carga, o que refletiu na característica textural dos sedimentos, que alternam entre material mais grosso com material mais fino, corroborando a idéia de que os depósitos foram formados por eventos deposicionais distintos.

Os trabalhos de descrição dos perfis estudados demonstraram ainda que as unidades sedimentares de maiores espessuras foram encontradas nos setores da encosta que apresentam ruptura de declive. Esse fato decorre da perda de energia do fluxo que faz com que o mesmo tenha uma redução na sua capacidade de transporte de carga, depositando o material transportado nesses setores da encosta.

As sondagens revelaram que a formação dos depósitos ocorre apenas nas áreas de ruptura de declive, sendo que em nenhum outro setor da encosta foi encontrado material com características morfológicas de depósitos, como por exemplo, estrutura, textura ou outro atributo que sugira a idéia de material depositado.

As descrições de campo, juntamente com a micromorfologia, não identificaram nenhuma estrutura ou sinal de processos pedogenéticos avançados, sugerindo a idéia de depósito contemporâneo aos dias atuais.

A análise micromorfológica sugere, através da porosidade, que o material alóctone foi transportado e depositado e o material mais fino provavelmente foi lavado, restando o material com aspecto grumoso. De forma geral as lâminas estudadas indicam tratar-se de depósito aluvial, sendo o material que constitui esses depósitos transportado em curtas distâncias.

Foi possível identificar também uma relação que envolve a quantidade de material fornecido pelos agentes erosivos e os processos deposicionais, e esse fato ocorre em virtude de o depósito com unidades sedimentares de maiores espessuras se localizar na desembocadura da seção 4, a seção de erosão que apresentou os maiores volumes de perda de solo. As unidades sedimentares compostas pelos materiais mais grossos foram identificadas nesse depósito, corroborando a idéia de que o fluxo que atuou no processo de erosão da seção 4 apresentou maior capacidade de retirada e transporte de

material em relação às outras seções de erosão, justificando as maiores taxas de erosão e espessura do depósito encontrado nessa seção, tornando evidente a relação intrínseca entre processos erosivos e deposicionais.

Dentro da perspectiva de depósito contemporâneo aos dias atuais, acredita-se que o processo erosivo instalou-se na encosta em virtude do desmatamento, consequência do início da ocupação da região. Ainda no tocante ao mau uso do solo, a criação de gado, ocupação inicial da área, por meio do pisoteio e consequente compactação do solo, se constitui como fator catalisador do processo erosivo na área de estudo que, associado às características ambientais da área (declividade, tipo de solo e índices pluviométricos) e consequente mau uso do solo, apresentou uma evolução. A ação conjugada de alguns mecanismos de erosão identificados na voçoroca também foi fator responsável pelo processo evolutivo da incisão, porém, baseando-se nas baixas taxas de erosão monitoradas no período da pesquisa, é possível concluir que a voçoroca está praticamente estabilizada.

Como já mencionado, o processo de erosão na encosta Guairacá é representado por voçoroca com padrão descontínuo. Pelo fato da incisão se distribuir de forma linear na encosta, acredita-se que as características estruturais da área influenciaram no processo erosivo, condicionando a convergência do fluxo ao local onde a voçoroca se instalou.

REFERÊNCIAS

BERTRAN, P.; TEXIER, J. P. Facies and microfacies of slope deposits. **Catena**, v. 35, p. 99-121, 1999.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; MARQUES FILHO, P. L. Estruturas e texturas da formação furnas e sua significação paleogeográfica. In: **Bol. Univ. Federal do Parana**, Curitiba, n.18, p. 01-17, 1966.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Livro Guia do III Simpósio Nacional de Controle da Erosão. Curitiba. p. 133 –145, 1985.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Florianópolis, Editora da UFSC, v.3, 554p, 2003.

BOGGS JR. San. **Petrology of sedimentary rocks**. New York: Macmillan Publishing Company, 1992. 707p.

BLAIKIE, P. **The political economy of soil erosion in developing countries**. Longman Group Limited, New York, 188p. 1985.

BULLOCK, P.; FEDEROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for Soil Thin Section Description**. Albrighton: Waine Research Publications, 1985. 152p.

CAMARGO, G. **Processo de erosão no Centro e Sul do Segundo Planalto Paranaense: evolução de encosta e influência da erosão subterrânea na expansão de voçorocas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998, 210p.

CAMARGO, G.; CAMARGO FILHO, M.; MASCARELLO, L. V. Processos de erosão em ravinas e voçorocas na bacia do Rio das Pedras – Guarapuava/PR. In: BATTISTELLI, M.; CAMARGO FILHO, M.; HEERDT, B. (Orgs). **Proteção e**

manejo da bacia do Rio das Pedras. Guarapuava: Editora B&D Ltda., 2004, p. 51-59.

CAMARGO, G. **O significado paleoambiental de depósitos de encosta e de preenchimento de canal no município de Lapa (PR) no sul do Segundo Planalto Paranaense.** 2005. 302p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CAMARGO FILHO, M. **Aspectos fundamentais da evolução geomorfológica cenozóica da bacia do rio Bananas - Guarapuava – PR.** 1997. 195p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina., Florianópolis.

CAMARGO FILHO, M. **O significado paleoambiental de seqüência pedossedimentar em baixa encosta: o caso dos paleossolos monjolo – Lapa- PR.** Florianópolis, 2005. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 325p.

CASTRO, S. S. Micromorfologia de solos aplicada ao diagnóstico de erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S da; BOTELLHO, R. G. M. (Orgs). **Erosão e conservação dos solos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 127-163.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, p. 93-148.

DE PLOEY, J. Hydraulics of runoff and loess loam deposition. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.9, p. 533-539, 1984.

DIETRICH, W.E.; DUNNE, T. The channel head. In: BEVEN, K.; KIRKBY, M.J. (Ed): **Channel Network Hydrology.** John Willey & Sons Ltda. p. 175 – 219, 1993.

DUNNE, T. Hydrology, mechanics and geomorphic implications or erosion by subsurface flow. In: **Groundwater Geomorphology.** Geological. Society of America Special Paper 252, p. 1 – 28, 1990.

FITZPATRICK, E. A. **Micromorphology of soils**. London: Chapman and Hall Ltd., 1984. 432p.

GOUDIE, A. **The Encyclopedic Dictionary of Physical Geography**. Basil Blackwell Ltd., Oxford, Inglaterra, 528p. 1985.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 17- 55, 1999.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 149-199, 2001.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Controle de erosão**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, 1989, 92p.

JACKSON, A.J. **Glossary of Geology**. Alexandria, Virginia. American Geological Institute, 1997, 382p.

KIRKBY, M. J.; CHORLEY, R. J. Throughflow, overland flow and erosion. In: **International Association of Scientific Hydrology Bulletin**, v. 12, p. 5 – 21, 1967.

KIRKBY, M. J. Implications for sediment transport. In: KIRKBY, M. J., (Ed): **Hillslope hydrology**: Chichester, U.K., John Wiley & Sons, p. 325 – 364, 1978.

MAACK, R. **Geografia física do estado Paraná**. Rio de Janeiro: Livraria José Olympo Editora S.A. 1 ed., 1981, 442p.

Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1979.

MASCARELLO, L. V., CAMARGO FILHO, M. **Formação de leques aluviais ou cones de dejeção oriundos de voçorocamento no centro-sul do Paraná – estudo de caso.**In: Anais do IX EPEG. Paranavaí, 2004.

MASCARELLO, L. V. **Caracterização de estruturas sedimentares em leques aluviais em ambiente úmido: a encosta Guairacá, centro – sul do Paraná.** Guarapuava, 2005. 77p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual do Centro – Oeste.

MELFI, A. J; E, M.PICCIRILO; NARDY, A, J, R. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin – an introduction. In: MELFI, A.J. **The Mesozoic flood vulcanism of the Paraná Basin.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1988. p. 01-11.

MILLER, J.P; LEOPOLD. L.B; WOLMAN. M. GORDON. **Fluvial Processes in Geomorphology.** San Francisco, W. H. Freeman and Company, 1963, 522p.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation.** London: Longman Group, 1986. 298p.

MOEYERSONS, J. Ravine formation on steep slopes: forward versus regressive erosion. Some case studies from Rwanda. **CATENA**, v.18, n.3 e 4, p. 309-324, 1991.

MOURA, J. R. S. **Transformações ambientais durante o Quaternário tardio no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP – RJ).** 1990. 267p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

MUNSELL soil collar chart. Baltimore, Munsell Collor Company, 2000. Tab.

MÜLLER, M. M. L.; POTT, C. A. Cobertura pedológica na bacia do Rio das Pedras – Guarapuava/PR. In: BATTISTELLI, M.; CAMARGO FILHO, M.; HEERDT, B. (Orgs). **Proteção e manejo da bacia do Rio das Pedras.** Guarapuava: Editora B&D Ltda., 2004, p. 77- 83.

NARDY, A, J, R. **Geologia e petrologia do vulcanismo mesozóico da região central da Bacia do Paraná**. Tese de Doutorado IGCE-UNESP .Rio Claro, 1995.

NERY, J. T.; MARTINS, M. de L. O. F.; SANT'ANA, J. L. N. Varibilidade da precipitação no Brasil Meridional. In: **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 6. Maringá: Editora da UEM, 2002. P. 1687 – 1695.

OLIVEIRA, M. A. T. de., MEIS, M. R. M. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão acelerada (Bananal, SP). **Geociências**, São Paulo, n.4, p. 211-238, 1985.

OLIVEIRA, M. A. T. de. Slope geometry and gully erosion development: Bananal, São Paulo, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v.34, n. 4, p. 423-434, 1990.

OLIVEIRA, M. A. T. de.; SBRUZZI, G.J.; PAULINO, L.A. Taxas de erosão acelerada por voçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA (4: Goiânia). **Anais**. Goiânia, 1995.

OLIVEIRA, M. A. T. de. Towards the integration of subsurface flow and overland flow in gully head extension: issues from a conceptual model for gully erosion evolution. **South African Geographical Journal**. Special Edition. 1997, p. 120-128.

OLIVEIRA, M. A. T. de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p 57-99.

PAISANI, J. C. **Descontinuidades hidrológicas, escoamento superficial e desenvolvimento de incisões erosivas em áreas de cabeceira de drenagem: estudo de caso na Colônia Quero-Quero, Palmeira (PR)**. 1998. 184p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PAISANI, J.C.; OLIVEIRA, M. A.T.de. Desenvolvimento de incisão erosiva (voçoroca) descontínua e desconectada da rede hidrográfica em área de

cabeceira de drenagem: o caso da Colônia Quero-Quero (Palmeira-PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, 2001, p. 51-58.

PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E. **Atlas and glossary of primary sedimentary structures**. Berlim: Springer-Verlag, 1964.

PROSSER, I. P.; HUGHES, A.O.; RUTHERFURD, I. D. Bank erosion of an incised upland channel by subaerial processes: Tasmania, Australia. **Earth Surface Processes and Landforms**. V. 25, n.10, p. 1085-1101, 2000.

REINECK, H.; SINGH, I. B. **Depositional Sedimentary Environments**. Berlim: Springer-Verlang, 1980. 543p.

RODRIGUES, J. E. **Estudo geotécnico de fenômenos erosivos acelerados (boçorocas)**. In: Anais do 4º congresso Brasileiro de Geografia Física, p. 169 – 182, 1984.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**: Oxford, Oxford University Press, 1982. 264p.

SELBY, M. J. Hillslope sediment transport and deposition. In: PYE, K. (Ed.) **Sediment transport and depositional processes**. London: Blackwell Scientific Publications, 1994. 397p.

SELLEY, R. C. **Applied sedimentology**. Londres: Academic Press Limited, 1988. 446p.

SHEPARD, F. P. Nomenclature base don sand-silt-clay ratios. **Journal Sedim. Petrology**, v. 24, p. 151 – 158, 1954.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1973. 317p.

SUGUIO, K. **Rochas sedimentares**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1982. 500p.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. John Wiley & Sons Ed. Wichester, England, 1994.

THOMAZ, E. L.; VESTENA; L. R. **Aspectos climáticos de Guarapuava – PR**. Guarapuava: Editora UNICENTRO, 2003. 106 p.

VANDEKERCKHOVE, L.; POESEN, J.; OSTWOUD WIJDNES, D.; NACHTERGAELE, J.; KOSMAS, C.; ROXO, M. J.; FIGUEIREDO, T. Thresholds for gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe. **Earth Surface Processes and Landforms.**, v. 25, p. 1201-1220, 2000.

VELOSO, H. P.; GOES FILHO, I. **Fitogeografia brasileira: classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical**. Salvador: Projeto RADAMBRASIL. Boletim Técnico n. 1, Série vegetação, 1982.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres Ltda. 1975, 464p.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, Chicago, v. 30, p. 377 – 392, 1922.

ANEXOS

ANEXO I

Formulário de campo

Data:
Condições do tempo:
Início:
Término:
Tradagem número:

Data:
Condições do tempo:
Início:
Término:
Tradagem número:

Data:
Condições do tempo:
Início:
Término:
Tradagem número:

Data:
Condições do tempo:
Início:
Término:
Tradagem número:

Data:
Condições do tempo:
Início:
Término:
Tradagem número:

[illegible]

ANEXO II

Formulário de laboratório